

Энциклопедия веса вольфрамового сплава

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

Мировой лидер в области интеллектуального производства для вольфрамовой,
молибденовой и редкоземельной промышленности

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun

1


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

ВВЕДЕНИЕ В CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD – дочерняя компания, полностью принадлежащая компании и имеющая независимую правосубъектность, созданная CHINATUNGSTEN ONLINE, – занимается продвижением интеллектуального, интегрированного и гибкого проектирования и производства вольфрамовых и молибденовых материалов в эпоху промышленного Интернета. CHINATUNGSTEN ONLINE, основанная в 1997 году с www.chinatungsten.com – первым в Китае веб-сайтом, посвященным вольфрамовой продукции, – является новаторской в стране компанией в сфере электронной коммерции, специализирующейся на вольфрамовой, молибденовой и редкоземельной промышленности. Используя почти три десятилетия обширного опыта в области вольфрама и молибдена, CTIA GROUP унаследовала исключительные проектные и производственные возможности своей материнской компании, превосходное обслуживание и международную деловую репутацию, став поставщиком комплексных прикладных решений в области вольфрамовых химикатов, вольфрамовых металлов, твердых сплавов, сплавов высокой плотности, молибдена и молибденовых сплавов.

За последние 30 лет компания CHINATUNGSTEN ONLINE создала более 200 многоязычных профессиональных веб-сайтов, посвященных вольфраму и молибдену, охватывающих более 20 языков. На сайте размещено более миллиона страниц новостей, цен и анализа рынка вольфрама, молибдена и редкоземельных металлов. С 2013 года в официальном аккаунте компании в WeChat «CHINATUNGSTEN ONLINE» было опубликовано более 40 000 информационных материалов, что позволило привлечь почти 100 000 подписчиков и ежедневно предоставлять бесплатную информацию сотням тысяч специалистов отрасли по всему миру. Благодаря миллиардам посещений веб-сайта и официального аккаунта, компания стала признанным глобальным и авторитетным информационным центром для вольфрамовой, молибденовой и редкоземельной отраслей, предоставляя круглосуточные многоязычные новости, информацию о характеристиках продукции, рыночных ценах и тенденциях рынка.

Опираясь на технологии и опыт CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP фокусируется на удовлетворении индивидуальных потребностей клиентов. Используя технологии искусственного интеллекта (ИИ), компания совместно с клиентами разрабатывает и производит изделия из вольфрама и молибдена с заданным химическим составом и физическими свойствами (такими как размер частиц, плотность, твердость, прочность, размеры и допуски). Компания предлагает комплексные интегрированные услуги, охватывающие весь процесс: от вскрытия пресс-форм и опытного производства до финишной обработки, упаковки и логистики. За последние 30 лет CHINATUNGSTEN ONLINE предоставила услуги по НИОКР, проектированию и производству более 500 000 видов изделий из вольфрама и молибдена более чем 130 000 клиентам по всему миру, заложив основу для индивидуального, гибкого и интеллектуального производства. Опираясь на эту основу, CTIA GROUP продолжает углублять интеллектуальное производство и комплексные инновации в области вольфрамовых и молибденовых материалов в эпоху промышленного интернета.

Доктор Ханис и его команда в CTIA GROUP, основываясь на более чем 30-летнем опыте работы в отрасли, также написали и опубликовали знания, технологии, анализ цен на вольфрам и рыночных тенденций, связанных с вольфрамом, молибденом и редкоземельными металлами, свободно делясь ими с вольфрамовой промышленностью. Доктор Хан, имеющий более чем 30-летний опыт работы с 1990-х годов в электронной коммерции и международной торговле вольфрамовой и молибденовой продукцией, а также в проектировании и производстве твердых сплавов и высокоплотных сплавов, является признанным экспертом в области вольфрамовой и молибденовой продукции как на внутреннем, так и на международном уровне. Придерживаясь принципа предоставления профессиональной и высококачественной информации для отрасли, команда CTIA GROUP постоянно пишет технические исследовательские работы, статьи и отраслевые отчеты, основанные на производственной практике и потребностях клиентов рынка, завоевывая широкое признание в отрасли. Эти достижения обеспечивают надежную поддержку технологическим инновациям CTIA GROUP, продвижению продукции и отраслевому обмену, позволяя ей стать лидером в сфере мирового производства продукции из вольфрама и молибдена, а также предоставления информационных услуг.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Оглавление

Предисловие

Предыстория и значение написания
Противовесы из вольфрамового сплава
Как структурирована эта книга
Целевая аудитория и использование

Глава 1: Основные понятия и классификация противовесов из вольфрамового сплава

- 1.1 Определение и функциональные характеристики противовесов из вольфрамовых сплавов
- 1.2 Базовые знания о вольфрамовых сплавах с высоким удельным весом (W-Ni-Fe / W-Ni-Si и т. д.)
- 1.3 Основные типы и формы выпуска противовесов из вольфрамовых сплавов
- 1.4 Сравнение с традиционными материалами противовесов (свинец, сталь, медь и т. д.)
- 1.5 Национальные и международные стандарты и системы наименований для вольфрамовых сплавов

Глава 2: Физические и химические свойства противовесов из вольфрамового сплава

- 2.1 Плотность и характеристики контроля качества ($>17 \text{ г/см}^3$)
- 2.2 Механические свойства (прочность на разрыв, твердость, ударная вязкость)
- 2.3 Тепловые свойства (теплопроводность, коэффициент теплового расширения)
- 2.4 Электрические и магнитные свойства
- 2.5 Анализ коррозионной стойкости и адаптивности к окружающей среде
- 2.6 Характеристики динамического отклика и демпфирования вибраций при высокой плотности

Глава 3: Технология изготовления противовесов из вольфрамового сплава

- 3.1 Основы порошковой металлургии и ключевой технологический процесс
- 3.2 Подготовка сырья и контроль соотношения (вольфрамовый порошок, связующая фаза)
- 3.3 Процесс формования (литье, изостатическое прессование, литье под давлением и т. д.)
- 3.4 Технология спекания (вакуум, жидкая фаза, контроль атмосферы)
- 3.5 Технология механической обработки и размерной отделки
- 3.6 Нанотехнологии и методы упрочнения высокой плотности

Глава 4: Тестирование производительности и оценка качества

- 4.1 Методы испытаний геометрических размеров и плотности
- 4.2 Стандарты испытаний механических свойств (ASTM, ISO)
- 4.3 Металлографическая структура и определение микроструктуры
- 4.4 Анализ химического состава (ICP, XRF)
- 4.5 Контроль качества поверхности и шероховатости
- 4.6 Технологии неразрушающего контроля (ультразвук, рентген)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Глава 5: Применение в аэрокосмической отрасли

- 5.1 Центр тяжести самолета и балансировочные грузы управления полетом
- 5.2 Спутниковые грузы и инерциальные системы управления
- 5.3 Технология хвостовых грузов ракет и снарядов
- 5.4 Управление вибрацией самолета и блоки реактивных масс
- 5.5 Инерционные грузы из вольфрамового сплава в системах оборонного оружия

Глава 6: Применение в автомобилях и машиностроении

- 6.1 Динамическое распределение веса автомобильного двигателя и шасси
- 6.2 Оптимизация распределения веса гоночных автомобилей Формулы-1
- 6.3 Модуль противовеса для высокоскоростных поездов
- 6.4 Блок противовеса для кранов, подъемного оборудования и щитовых машин
- 6.5 Решения по обеспечению стабильного веса для гражданского строительства и крупной строительной техники

Глава 7: Применение в электронном и медицинском оборудовании

- 7.1 Компоненты противовеса для точных приборов и гироскопов
- 7.2 Вольфрамовые блоки (OIS) для защиты от сотрясений в модулях камер мобильных телефонов
- 7.3 Устойчивая конструкция противовеса для оборудования КТ и МРТ
- 7.4 Мобильные противовесы для оборудования лучевой терапии
- 7.5 Системы противовеса для микродронов и портативных устройств

Глава 8: Применение в спорте и гражданской сфере

- 8.1 Конструкция грузил для клюшек для гольфа и шаров для боулинга
- 8.2 Веса стрелкового оборудования
- 8.3 Грузы рыболовных снастей и системы балансировки моделей самолетов
- 8.4 Грузы для камер, стабилизаторов и штативов
- 8.5 Функции веса гражданских инструментов и высококачественных индивидуальных продуктов

Глава 9: Охрана окружающей среды, безопасность и регулирование

- 9.1 Экологические свойства и нетоксичные преимущества грузов из вольфрамового сплава
- 9.2 Анализ замены свинцовых материалов
- 9.3 Совместимость с REACH, RoHS и другими международными экологическими нормами
- 9.4 Требования к системе качества для аэрокосмической и военной промышленности
- 9.5 Прослеживаемость и механизмы контроля партий

Глава 10: Развитие рынка и тенденции отрасли

- 10.1 Глобальная цепочка поставок вольфрамовых ресурсов и материалов для противовесов
- 10.2 Размер рынка и тенденции спроса

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10.3 Типичные компании и международная конкурентная среда

10.4 Тенденции модернизации продукции, обусловленные новыми технологиями

10.5 Стратегическое положение в будущем высокотехнологичном оборудовании

Приложения

Приложение I: Технические характеристики и эксплуатационные параметры распространенных противовесов из вольфрамового сплава

Приложение II: Сравнительная таблица международных и китайских стандартов вольфрамовых сплавов

Приложение III: Обычно используемое оборудование и параметры процесса

Приложение IV: Глоссарий и пояснения сокращений

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

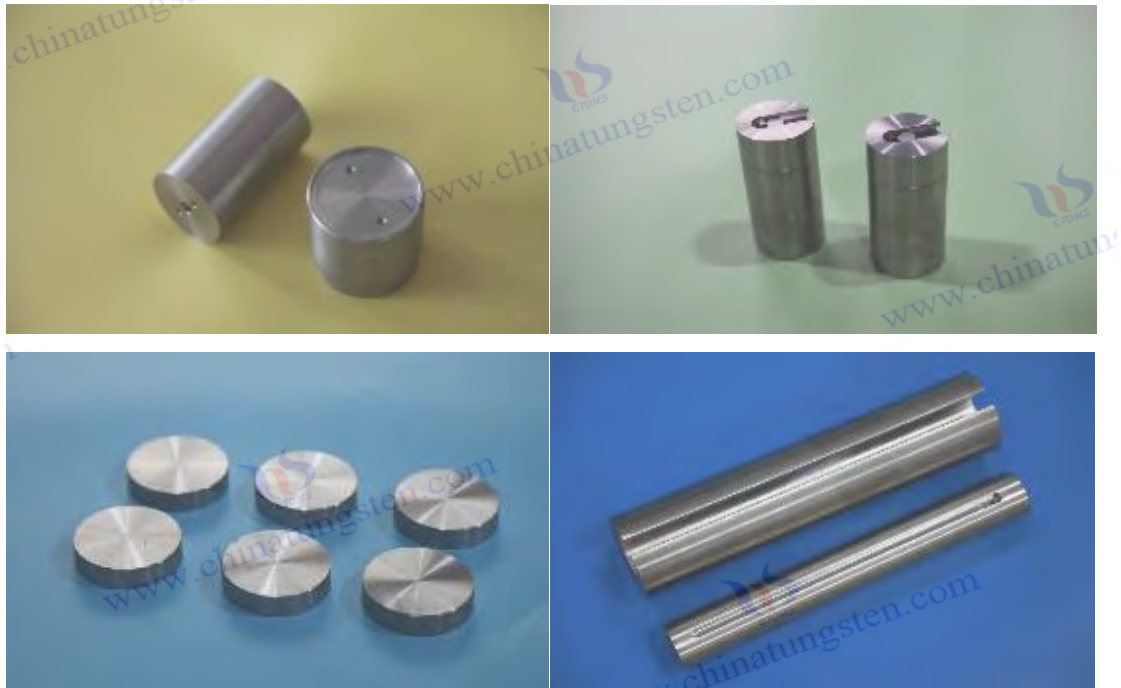
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



Предисловие

Предыстория и значение написания

В условиях стремительного развития высокотехнологичных отраслей, таких как аэрокосмическая промышленность, прецизионное производство, интеллектуальное оборудование, медицинская визуализация и транспортные средства на новых источниках энергии, к системе противовесов, являющейся важным компонентом для достижения механического равновесия, повышения устойчивости и точного управления функциями, предъявляются всё более высокие технические и структурные требования. Хотя традиционные материалы для противовесов, такие как свинец, сталь, медь и др., обладают определёнными преимуществами в плане плотности и технологичности, они уже не могут отвечать комплексным требованиям к оборудованию нового поколения, предъявляемым к «высокой плотности, компактности и высокой стабильности» с точки зрения производительности, экологичности и компактности конструкции.

Вольфрамовый сплав, особенно композитные материалы на основе вольфрама высокой плотности, представленные системами W-Ni-Fe и W-Ni-Cu, стал идеальным материалом для современных высокопроизводительных систем противовесов благодаря своей **сверхвысокой плотности (>17 г/см³), превосходным механическим свойствам, исключительной экологической адаптивности и нетоксичности и экологичности**. В аэрокосмической промышленности он используется для регулировки центра тяжести и управления положением самолетов; в автомобильной промышленности он служит для балансировки шасси и динамической регулировки; в медицинском оборудовании он обеспечивает стабильность изображения и механическую точность; в гражданской сфере он постепенно вытесняет традиционные тяжелые металлические материалы и внедряется в высокотехнологичное жизненное оборудование и точное спортивное оборудование.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Противовесы из вольфрамовых сплавов не только представляют собой прогресс в области передовых технологий материалов, но и отражают комплексные инновации в производственных процессах, концепциях проектирования, стандартных системах и даже моделях цепочек поставок. В настоящее время систематическая литература по противовесам из вольфрамовых сплавов все еще относительно разрозненна и не имеет комплексного справочника, охватывающего основы материалов, процессы изготовления, эксплуатационные испытания, типичные области применения и промышленное развитие. Поэтому мы составили настоящую книгу «Энциклопедия противовесов из вольфрамовых сплавов», чтобы восполнить этот пробел, всесторонне разобраться и глубоко проанализировать основные технологии и промышленную ценность противовесов из вольфрамовых сплавов, а также удовлетворить потребности всех категорий пользователей – от научных исследований до проектирования, производства и применения.

Противовесы из вольфрамового сплава

Вольфрам играет всё более важную роль в энергетической безопасности, военной технике и будущих транспортных системах. В частности, вольфрамовые сплавы, используемые в качестве противовесов, не только обеспечивают высокую степень единства между эффективностью использования материала и функциональной интеграцией, но и играют ключевую роль в **снижении веса и повышении эффективности, экологичном производстве и оптимизации систем.**

- В **аэрокосмической отрасли** грузы из вольфрамовых сплавов широко используются в основных конструкциях, таких как поверхности управления полётом, блоки управления ориентацией, инерциальные навигационные системы и блоки реактивных масс. Высокая плотность этих грузов позволяет значительно уменьшить объём конструкции, повысить эффективность использования пространства и точность управления.
- В **новых энергетических транспортных средствах и интеллектуальном оборудовании** вольфрамовый сплав используется в качестве динамического противовеса в системах электропривода и механизмах автоматического управления для повышения скорости реагирования и возможностей управления балансом, а также для снижения шума и вибрации в системе.
- В **системах ядерной энергетики и физики высоких энергий** противовесы из вольфрамового сплава выполняют функции радиационной защиты и демонстрируют высокую безопасность и долговременную стабильность эксплуатации в сложных условиях эксплуатации.
- В то же время его экологически чистые характеристики, такие как **нетоксичность, безвредность и простота переработки**, также делают его ключевым выбором для постепенной замены материалов противовеса на основе свинца, отвечая требованиям международных экологических норм, таких как REACH и RoHS.

Как структурирована эта книга

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Книга состоит из десяти глав и пяти приложений, охватывающих основы теории, свойства материалов, процесс производства, методы испытаний, примеры применения, отраслевые стандарты и будущие тенденции в области противовесов из вольфрамовых сплавов. Разделы книги представлены ниже:

- **Глава 1** знакомит с основными понятиями, методами классификации и стандартной системой грузов из вольфрамовых сплавов;
- **В главе 2** систематически анализируются его физические, механические, термические, экологические и динамические свойства;
- **В главе 3** подробно описывается путь подготовки, обработки и упрочнения методом порошковой металлургии;
- **В главе 4** рассматриваются общие методы тестирования и методы контроля качества;
- **В главах с 5 по 8** рассматриваются типичные приложения в четырех основных областях: аэрокосмической, автомобильной, медицинской и гражданской;
- **В главе 9** основное внимание уделяется позиции страны в области охраны окружающей среды, регулирования и соблюдения международных норм;
- **Глава 10** посвящена состоянию рынка, структуре предприятия и будущему направлению развития;
- **В приложении** приведены часто используемые параметры спецификаций, стандартная компиляция и указатель случаев для удобства использования в инженерной практике.

Целевая аудитория и использование

Эта книга предназначена для следующих читателей:

- **Исследователи и инженеры-материаловеды** : могут оказывать теоретическую поддержку исследованиям материалов из вольфрамовых сплавов высокой плотности, оптимизации производительности и структурного проектирования;
- **Персонал по промышленному проектированию и производству** : может предоставить техническую основу для разработки новых продуктов, оценки производительности и структурного соответствия;
- **Инженеры по закупкам оборудования и применению продукции** : могут служить важным источником информации при выборе материалов противовеса и разработке технологических маршрутов;
- **Политики и отраслевые аналитики** : могут использоваться для понимания состояния и тенденций развития вольфрамовых материалов в передовых производственных процессах;
- **Преподаватели и студенты колледжей и университетов, а также стажеры технических специальностей** : могут быть использованы в качестве учебных материалов и справочных материалов для преподавания и профессиональных курсов.

Содержание этой книги ориентировано на инженерное применение и практическое применение, учитывая как теоретическую глубину, так и технические детали. Она также снабжена типовыми диаграммами, сравнениями данных и анализом реальных случаев,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

стремясь предоставить профессиональное руководство, которое является одновременно систематичным, всеобъемлющим и простым в использовании.

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

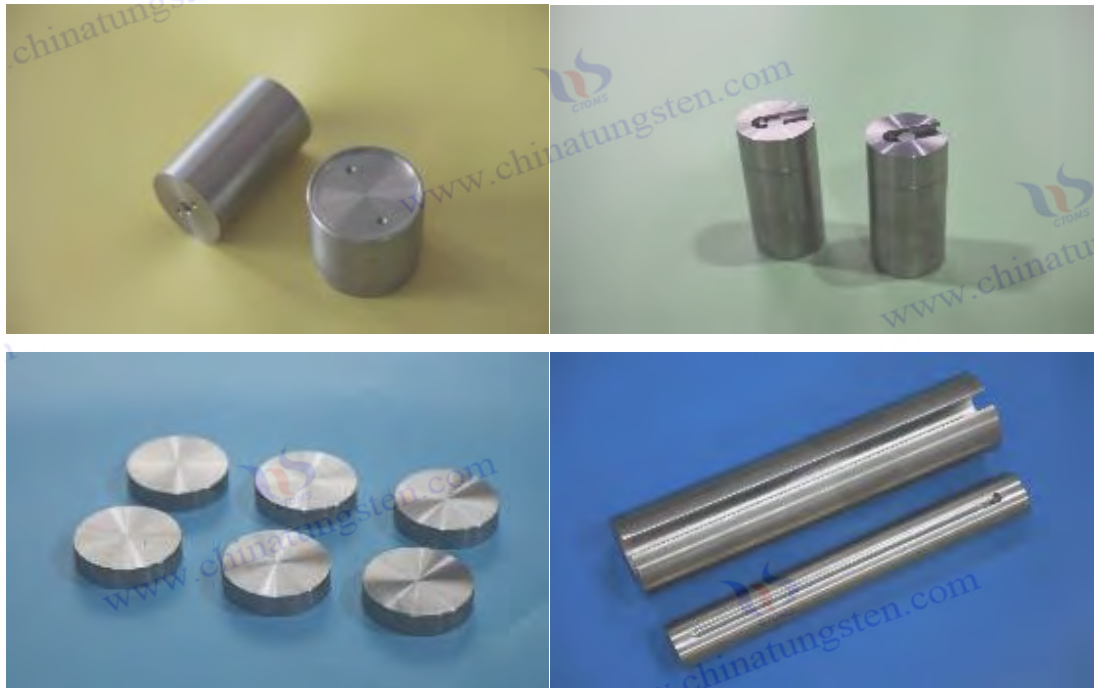
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



Глава 1. Основные понятия и классификации противовесов из вольфрамовых сплавов

1.1 Определение и функциональные характеристики грузов из вольфрамового сплава

Противовесы из вольфрамовых сплавов обычно представляют собой сплавы высокой плотности, состоящие из вольфрама (W) в качестве матричного элемента и определённой доли связующих металлов (таких как никель Ni, железо Fe, медь Cu и т. д.). Они превращаются в функциональные компоненты с определёнными геометрическими размерами и массой посредством формовки, спекания и финишной обработки. Они используются в основном для создания структурных противовесов, балансировки масс, контроля инерции и поглощения вибраций.

Вольфрамовый сплав широко используется для замены традиционных материалов противовесов в современном высокотехнологичном производстве и **точном машиностроении** благодаря своим превосходным **физическим свойствам** (высокая плотность и компактность), **механическим свойствам** (высокая прочность и хорошая твёрдость), **экологической устойчивости** (коррозионная стойкость и устойчивость к высоким температурам) и экологическим характеристикам (нерадиоактивность, нетоксичность и безопасность для окружающей среды). Он стал ключевым решением для противовесов в **аэрокосмической и автомобильной промышленности, медицинском оборудовании, военных системах и высокотехнологичной гражданской продукции.**

Основные характеристики включают в себя:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

- **Высокая плотность и малый объём** : вольфрамовый сплав имеет плотность **17,0–18,5 г/см³** , что в 1,6 раза больше, чем у свинца и в 2 раза больше, чем у стали. Он позволяет добиться большего эффекта противовеса в ограниченном пространстве и особенно подходит для систем с ограниченным пространством и контролируемой массой.
- **Обрабатываемость и структурная управляемость** : сложные конструкции могут быть изготовлены с помощью механической обработки, электроискровой обработки, 3D-печати и т. д. для удовлетворения потребностей в противовесах специальной формы.
- **Хорошие механические свойства** : прочность на растяжение до **700-1200 МПа** , твердость более **300 HV** , а также хорошая ударная вязкость и усталостная прочность.
- **Высокая температурная стабильность и химическая инертность** : может долгое время служить в термической среде **400-800 °C** и **устойчив в большинстве кислот и щелочных сред**.
- **Электромагнитное экранирование и низкий уровень магнитных помех** : подходит для прецизионных конструкций, таких как противовесы электронных приборов и системы балансировки гироскопов.
- **Экологичный, безопасный для окружающей среды и пригодный для вторичной переработки** : не содержит свинца и вредных тяжелых металлов и соответствует международным директивам по охране окружающей среды, таким как RoHS и REACH.

1.2 Базовые знания о тяжелых вольфрамовых сплавах (W-Ni-Fe / W-Ni-Cu и т.д.)

В противовесах из вольфрамового сплава в основном используются два типа сплавов на основе вольфрама с высоким удельным весом: **W-Ni-Fe (вольфрамоникелевое железо)** и **W-Ni-Cu (вольфрамоникелевая медь)** . Они обладают различными механическими, электромагнитными и коррозионными характеристиками и подходят для различных сфер применения.

Вольфрамовый сплав W-Ni-Fe

- **Характеристики состава** : Типичное соотношение: W (90–97 мас.%) + Ni (3–5 мас.%) + Fe (1–3 мас.%)
- **Преимущества производительности** :
 - Высокая прочность, предел прочности на разрыв может достигать **1000–1200 МПа**
 - Высокий предел текучести, подходит для несущих или ударопрочных конструкций
 - Хорошая износостойкость, подходит для деталей военных и авиационных конструкций.
- **Типичные области применения** : инерционные маховики, противовесы хвостового руля ракет, системы управления полетом, модули гиросtabilизации и т. д.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Вольфрамовый сплав W-Ni-Cu

- **Характеристики состава** : W (90–97 мас.%) + Ni (3–5 мас.%) + Cu (2–4 мас.%)
- **Преимущества производительности** :
 - Лучшая проводимость, подходит для электрического контакта с противовесами
 - Низкий уровень магнитных помех, подходит для прецизионных электронных систем
 - Высокая коррозионная стойкость, подходит для использования в условиях высокой влажности или морской среды.
- **Типичные области применения** : противовесы в ядерной медицине, устройства компьютерной томографии, оборудование защиты от электромагнитных помех, гражданские балансировочные устройства и т. д.

В последние годы были разработаны системы вольфрамовых сплавов, такие как W-Ni-Co, W-Cu-Re и W-Polymer, с целью расширения их функций противовеса в 3D-печати, самовосстанавливающихся материалах и экстремальных условиях работы.

1.3 Основные типы и формы выпуска гирь из вольфрамовых сплавов

Противовесы из вольфрамового сплава можно разделить на следующие категории в зависимости от различных требований к применению и конструктивных характеристик:

Классификация по назначению:

- **Конструкционный противовес** : используется для регулировки центра тяжести оборудования и управления инерцией, например, противовес элеронов самолетов и противовес шасси гоночных самолетов Формулы-1.
- **Защитный груз** : выполняет как экранирующую, так и балансировочную функцию, например, вес корпуса радиотерапевтического оборудования.
- **Динамический противовес** : необходимо регулировать или реагировать на движение, например, компоненты противовеса гироскопов и стабилизатора камеры.
- **Космический противовес** : используется для высокоточных конструкций со строгими пространственными ограничениями, таких как медицинские зонды и гироскопы.
- **Регулируемый противовес** : используется вместе с винтами, направляющими и другими конструкциями для регулировки веса и положения, например, стрелкового оборудования.

Классификация по форме:

- **Блок** : стандартный прямоугольный параллелепипед, куб, цилиндр, легко складывается и комбинируется
- **Кольцо** : обычно используется в системах балансировки вращения, таких как гироскопы и роторы генераторов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Стержень/штифт** : используется для локального утяжеления или точной настройки баланса, легко вставляется
- **Тип вставки** : встроенная в пластиковые или композитные конструкции, например, противовес модуля камеры OIS
- **Детали специальной формы** : изготовленные на станке с ЧПУ в соответствии с фактической структурой, например, хвостовое оперение системы управления ракетой, конструкция кабины противовеса системы управления полетом

Классификация по форме обработки:

- **Прессование методом порошковой металлургии**
- **Тип чистовой обработки с ЧПУ**
- **Тип электроэрозионной обработки (ЭЭО)**
- **Аддитивное производство с 3D-печатью**

1.4 Сравнение противовесов из вольфрамового сплава и традиционных материалов противовесов (свинец, сталь, медь и т. д.)

Материал	Плотность (г/см³)	сила	Защита окружающей среды	Контроль размеров	Электромагнитные помехи
Вольфрамовый сплав	17,0–18,5	Высокая (700–1200 МПа)	☒ Нетоксично	Отлично (±0,01 мм)	Очень низкий (для электронного оборудования)
свинец	11.3	Низкое (<100 МПа)	☒ Токсичный	в целом	Высокий, легко мешающий
сталь	7.8	От среднего до высокого	☒	хороший	середина
медь	8.9	середина	☒	хороший	Умеренный
алюминий	2.7	Средний- низкий	☒	отличный	Очень низкий

Как видно из таблицы, вольфрамовый сплав превосходит традиционные материалы для противовесов по **удельному весу, размерному контролю, безопасности, экологичности и помехоустойчивости**. Он особенно подходит для случаев, требующих **малого объёма и большой массы** , и является важной альтернативой современным высококачественным материалам для противовесов.

1.5 Национальные и международные стандарты и системы наименований вольфрамовых сплавов

Для грузов из вольфрамового сплава создана относительно зрелая система стандартов, которая в основном включает национальные стандарты (GB), отраслевые стандарты (HB, YS), международные стандарты (ASTM, MIL, ISO) и т. д.

Китайская стандартная система:

- **GB/T 24187-2009** Тяжелый вольфрамовый сплав
- **YS/T 798-2012** Тяжелый вольфрамовый сплав в порошке
- **HB/Z 99-2018** Технические условия на тяжелые вольфрамовые сплавы для авиации
- **JB/T 10647-2006** Общие технические условия на противовесы из вольфрамового сплава

Международная система стандартов:

- **ASTM B777-15** : Стандартная спецификация для тяжелых вольфрамовых сплавов
- **MIL-T-21014D** : Военные технические условия – Высокоплотные сплавы на основе вольфрама
- **ISO 22068:2010** : Вольфрам и вольфрамовые сплавы — Терминология и классификация

Пример наименования:

- **WNiFe90** : Указывает, что содержание вольфрама составляет 90%, а остальное — это связующая фаза Ni и Fe (обычно Ni:Fe = 7:3)
- **W-Ni-Cu 93/4/3** : относится к тройному сплаву высокой плотности, состоящему из 93% вольфрама, 4% никеля и 3% меди.
- **Класс прочности WHAS 1–4** (классификация ASTM): от низкой прочности (класс 1) до высокой прочности (класс 4)

Кроме того, разные компании и страны также имеют свои собственные специфические бренды, такие как:

- Серия TWM (вольфрамовый утяжелитель) из Китая.
- Серия Densimet ® компании Plansee
- HC Starck 's Tungsten Heavy Alloy

В реальных инженерных приложениях выбор должен основываться на **среде использования, механических требованиях и компромиссах затрат** в сочетании со стандартными требованиями и параметрами предприятия для достижения оптимального соответствия материалов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Глава 2 Физические и химические свойства противовесов из вольфрамового сплава

Уникальные физические и химические свойства вольфрамового сплава определяют его ключевую ценность при использовании в различных противовесах. В этой главе будет проведен всесторонний анализ основных характеристик противовесов из вольфрамового сплава по шести аспектам: контроль плотности, механические свойства, теплопроводность, электромагнитные свойства, адаптация к окружающей среде и динамические характеристики, что обеспечит научную основу для последующего выбора конструкции, инженерного применения и системной интеграции.

2.1 Плотность и контрольные характеристики качества ($>17 \text{ г/см}^3$)

Наиболее заметной характеристикой гирь из вольфрамовых сплавов является их сверхвысокая плотность. Плотность широко используемых вольфрамовых сплавов W-Ni-Fe или W-Ni-Cu составляет $17,0\text{--}18,5 \text{ г/см}^3$, что близко к плотности чистого вольфрама ($19,3 \text{ г/см}^3$) и значительно выше, чем у стали ($7,8 \text{ г/см}^3$), меди ($8,9 \text{ г/см}^3$) или свинца ($11,3 \text{ г/см}^3$).

Преимущество плотности:

- **Малый объем обеспечивает большую массу** : это способствует достижению точной весовой балансировки в сценариях с ограниченным конструктивным пространством, например, в элеронах самолетов, рулях управления ракетами, прецизионных гироскопах и т. д.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Улучшение инерции** : высокая кинетическая энергия и инерция, обусловленные высокой плотностью, способствуют устойчивости системы движения к возмущениям и особенно подходят для случаев пассивной устойчивости, требующих «массового противодействия» (например, поглощения ударов и контроля отдачи).
- **Равноценная замена** : при одинаковых требованиях к качеству объем, занимаемый вольфрамовым сплавом, составляет всего 60% свинца и 40% стали, что способствует структурному сжатию и интегрированному проектированию.

Метод контроля плотности:

- На этапе прессования методом порошковой металлургии плотность заготовки точно контролируется давлением формования (500–1000 МПа) и технологией горячего изостатического прессования (ГИП);
- В процессе спекания используется жидкофазное спекание (диапазон температур: 1400–1500 °C) для подавления образования пор и достижения контроля микропористости $^{**}<0,5\%^{**}$;
- Плотность готового продукта определяется методом Архимеда (ASTM B962) , точность измерения составляет $\pm 0,01 \text{ г/см}^3$. Для некоторых высокотехнологичных приложений погрешность измерения должна быть менее 0,5%.

Данные за 2025 год показывают, что плотность блоков противовеса из высокоплотного вольфрамового сплава, самостоятельно разработанных China Tungsten Intelligence, достигла промышленного диапазона регулирования партии $17,8\text{--}18,2 \text{ г/см}^3$, что полностью удовлетворяет потребностям аэрокосмической отрасли и области физики высоких энергий.

2.2 Механические свойства (прочность на разрыв, твердость, ударная вязкость)

Вольфрамовый сплав не только обладает высокой плотностью, но и обладает превосходными механическими свойствами, может стабильно работать в условиях высоких нагрузок, ударопрочности и устойчивости к деформациям.

предел прочности:

- Типичная прочность на растяжение системы W-Ni-Fe: 900–1200 МПа ;
- Система W-Ni-Cu немного ниже, около 700–950 МПа ;
- После армирования наночастицами или оптимизации спекания в жидкой фазе предел прочности на растяжение некоторых высокопрочных вольфрамовых сплавов может достигать $>1400 \text{ МПа}$;
- **Предел текучести** в большинстве случаев превышает 800 МПа , что подходит для работы в условиях давления или вибрации.

твердость:

- твердость по Виккерсу (HV10) в диапазоне 300–450 HV ;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- После поверхностной закалки (например, покрытия TiN) твердость может достигать **>500 HV** ;
- Он в несколько раз тверже свинца (~50 HV) и стали (~200 HV), что делает его более подходящим для сборочных сред, требующих длительной износостойкости и стойкости к давлению.

Ударная вязкость:

- Энергия удара (тип Шарпи V) около **10–30 Дж/см²** ;
- Испытание на удар по Изоду (ASTM E23) показывает, что его ударная вязкость подходит для систем с динамическими весами, таких как хвостовая часть корпуса ракеты, противоударные конструкции автомобилей и т. д.

На механические свойства существенно влияют такие факторы, как плотность спекания, соотношение фаз связующего, размер зерна и т. д. Исследования 2024 года показали, что при температуре спекания **1450 °C** и соотношении фаз связующего Ni:Fe = 7:3 механические свойства материала оптимальны.

2.3 Тепловые свойства (теплопроводность, коэффициент теплового расширения)

Вольфрамовый сплав обладает хорошей термической стабильностью в условиях высоких температур или термоциклирования и подходит для систем противовесов с концентрированными тепловыми нагрузками, таких как периферийные устройства авиационных двигателей и ядерные энергетические системы.

Теплопроводность:

- W-Ni-Fe: **70–90 Вт/м·К**
- W-Ni-Cu: Лучшая теплопроводность, до **100–130 Вт/м·К**
- Высокая теплопроводность способствует быстрому переносу тепловой энергии и уменьшает локальное накопление напряжений.

Коэффициент теплового расширения:

- Коэффициент теплового расширения (КТР): **4,5–6,5 ×10⁻⁶ /K**
- Хорошая совместимость с конструкционными материалами, такими как титан и сталь, что позволяет избежать структурного несоответствия, вызванного тепловым расширением и сжатием;
- Размеры мало изменяются в условиях высоких температур, что обеспечивает стабильность точности.

Испытание на термический цикл 2023 (-50 °C ↔ 500 °C) показало, что погрешность размеров конструкции противовеса из вольфрамового сплава по-прежнему контролируется в диапазоне **±0,02 мм** после 1000 циклов.

2.4 Электрические и магнитные свойства

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Вольфрамовый сплав обладает умеренной проводимостью и контролируемыми магнитными свойствами, а материалы можно подбирать в соответствии с различными конструктивными требованиями.

Электрические свойства:

- Удельное сопротивление: **3,5–6,0 мкОм·см** ;
- Система W-Ni-Cu имеет лучшую проводимость, чем система W-Ni-Fe;
- В конструкциях, требующих антистатичности, защиты от молний или электромагнитной совместимости, вольфрамовый сплав может выполнять и функцию противовеса, и функционала.

Магнитные свойства:

- Система W-Ni-Fe имеет определенную магнитную проницаемость и подходит для компонентов, которые должны быть согласованы с магнитно-чувствительными элементами;
- W-Ni-Cu — **маломagnetный материал** (практически немагнитный), подходящий для прецизионных гироскопов, магниточувствительных компонентов, оборудования МРТ и т. д.;
- Магнитный отклик можно контролировать, выбирая и регулируя соотношение фаз связующего.

Испытания, проведенные в 2024 году, показали, что магнитную проницаемость маломagnetного вольфрамового сплава можно контролировать на уровне **<1,02** , что соответствует строгим требованиям, предъявляемым к прецизионному медицинскому оборудованию к «нулевым магнитным помехам».

2.5 Анализ коррозионной стойкости и адаптации к окружающей среде

Вольфрамовый сплав демонстрирует отличную коррозионную стойкость и атмосферостойкость в различных экстремальных условиях благодаря своей плотной структуре и химической стабильности самого элемента вольфрама.

Коррозионная стойкость:

- Устойчив к воздействию атмосферы, водяного пара и масляной среды;
- соляного тумана и кислых сред (таких как HCl, H₂SO₄) значительно ниже, чем у стали и меди;
- После испытания в нейтральном солевом тумане (5% NaCl, 500 ч) в 2023 году толщина поверхностного оксидного слоя составила всего **<5 мкм** , без существенной потери качества;
- При добавлении покрытия (например, CrN, NiP) его можно использовать в морской среде или среде кислотного тумана, а срок службы увеличивается более **чем на 5 лет** .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Экологическая адаптация:

- Может стабильно работать в течение длительного времени в диапазоне температур от -60°C до $+500^{\circ}\text{C}$;
- Хорошая устойчивость к ультрафиолетовому излучению, радиации, повышенной влажности, перепадам температур и другим воздействиям;
- В 2025 году будет завершено комплексное испытание рабочего состояния авиационного вольфрамового противовеса на **вибрацию 20 г/термоудар 1000 раз** , степень сохранения структурной целостности составит $>95\%$.

2.6 Динамический отклик и характеристики гашения вибраций при высокой плотности

Вольфрамовый сплав также демонстрирует превосходную динамическую инерционную реакцию и возможности контроля вибрации и является широко используемым «инертным регулировочным элементом» в высокопроизводительных системах движения.

Динамический отклик:

- Высокая плотность обеспечивает высокую кинетическую энергию, улучшая помехоустойчивость при инерциальном регулировании (например, в аэрокосмических инерциальных навигационных системах);
- Используется для балансировки вращающихся частей самолета или оборудования с целью оптимизации траектории движения и уменьшения дрожания;
- После применения веса шасси гоночных автомобилей Формулы-1 устойчивость кузова улучшается более **чем на 15%** (измеренное улучшение бокового ускорения).

Демпфирование вибраций:

- Внутренняя структура плотная, с небольшим количеством микропор и высоким акустическим сопротивлением, что позволяет поглощать энергию вибрации;
- В 2024 году испытания стабилизаторов камер и мощных телескопов показали, что грузики из вольфрамового сплава снижают амплитуду микровибраций на **30–40%** ;
- При этом при использовании хвостового оперения несущего винта БПЛА военного назначения погрешность управления процессом взлета и посадки снижается **примерно на 12%** .

Благодаря конструкции формы (например, Т-образной, Н-образной, встроенной) и оптимизации метода установки вольфрамовый сплав может дополнительно повысить эффективность реагирования и способность к демпфированию резонанса системы противовеса по различным осям и частотам.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Глава 3 Технология изготовления противовеса из вольфрамового сплава

Противовесы из вольфрамового сплава напрямую определяют плотность, механические свойства и размерную точность изделия. В данной главе рассматривается основной метод изготовления противовесов из вольфрамового сплава – технология порошковой металлургии, а также ключевые технологические аспекты, такие как контроль сырья, методы формовки, оптимизация спекания, прецизионная обработка и наноупрочнение, а также подробно раскрывается путь промышленного производства и стратегия управления параметрами процесса.

3.1 Основы порошковой металлургии и ключевые технологические процессы

Порошковая металлургия (ПМ) является основной технологией производства противовесов из вольфрамовых сплавов и особенно подходит для обработки тугоплавких металлов (таких как вольфрам, молибден) и их композиционных материалов. Этот процесс заключается в смешивании вольфрамового порошка с порошком связующего металла (Ni, Fe, Cu и др.), прессовании и спекании для получения заготовки из вольфрамового сплава с высоким удельным весом, контролируемой формой и превосходными эксплуатационными характеристиками.

Процесс выглядит следующим образом:

1. Подготовка сырья (вольфрамовый порошок и связующий порошок)
2. Смешивание и шаровое измельчение

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Прессование (одноосное, холодное изостатическое прессование, литье под давлением)
4. Предварительное спекание и жидкофазное спекание
5. Механическая обработка и термическая обработка
6. Обработка поверхности и коррекция размеров
7. Контроль качества и доставка продукции

Этот процесс имеет следующие преимущества:

- Возможность получения готовой продукции высокой плотности с содержанием вольфрама 90–97%;
- После регулирования атмосферы и параметров спекания плотность продукта может достигать $\geq 99\%$;
- Низкая стоимость, высокая адаптивность, возможность массового производства сложных деталей специальной формы и небольших партий деталей по индивидуальному заказу;
- По сравнению с методом литья пористость ниже, структура более однородная, а колебания эксплуатационных характеристик невелики.

3.2 Подготовка сырья и контроль соотношения (вольфрамовый порошок, связующая фаза)

1) Требования к характеристикам вольфрамового порошка:

- **Распределение размера частиц:** рекомендуется $D_{50} = 1\text{--}10$ мкм, а для специальных типов высокой плотности доступен субмикронный порошок (0,5 мкм);
- **Сферичность** : Сферический порошок ($>0,85$) легко уплотняется и имеет равномерную усадку при спекании;
- **Удельная площадь поверхности** : предпочтительна 3–6 м²/г, что позволяет эффективно связывать металлическую связующую фазу;
- **Требования к чистоте** : $W \geq 99,95\%$, содержание кислорода $\leq 0,1\%$, примеси (Mo, Si, Ca и т.д.) $\leq 0,01\%$.

2) Порошок связующей фазы (Ni, Fe, Cu):

- Ультратонкий порошок, приготовленный в восстановительной атмосфере;
- Размер частиц обычно составляет 1–5 мкм, что хорошо совместимо с вольфрамовым порошком;
- Соотношение регулируется в соответствии с различными требованиями к механическим и магнитным характеристикам:

Тип сплава	Соотношение Ni:Fe/Cu	Функции
W-Ni-Fe	7:3 или 8:2	Высокая прочность, сильный магнетизм
W-Ni-Cu	9:1 или 8:2	Низкомагнитный тип, подходит для точных приборов

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

W-Ni-Co	Регулируемый	Высокочастотные компоненты, высокая коррозионная стойкость
---------	--------------	--

3) Предварительное смешивание и измельчение в шаровой мельнице:

- Использовать мокрое измельчение в шаровой мельнице, растворитель — этанол или парафин;
- Соотношение шаров к материалу 5:1, время измельчения 12–24 ч;
- Добавьте диспергаторы (например, ПВА или ПЭГ) для улучшения однородности смешивания.

3.3 Процесс формования (литье под давлением, изостатическое прессование, литье под давлением и т. д.)

1) Одноосное компрессионное формование:

- Применимо к изделиям стандартной геометрии, таким как пластины, блоки, кольца и т. д.
- Диапазон давлений: **200–800 МПа** ;
- Материал формы — сталь SKD11 или карбид вольфрама, что гарантирует отсутствие трещин под высоким давлением;
- Плотность до печати может достигать 14-15,5 г/см³, а точность формования составляет $\pm 0,1$ мм.

2) Холодное изостатическое прессование (ХИП):

- Подходит для больших противовесов высокой плотности;
- Давление может достигать **300–400 МПа** , трехходовое изобарическое;
- можно улучшить на $\geq 10\%$, а риск появления трещин можно значительно снизить;
- Необходимы последующая механическая обработка, обрезка и корректировка размеров.

3) Литье металлов под давлением (ММ):

- Используется для небольших сложных конструкций (типа весовых плит, вольфрамовых блоков вставного типа);
- Порошок смешивают с термопластичным связующим (парафин + полимер) для образования гранул;
- Температура впрыска 150–180°C, спекание после удаления связующего;
- Преимуществами являются высокая точность размеров ($\pm 0,05$ мм), пригодность для массового производства и высокая сложность формы.

3.4 Технология спекания (вакуумная, жидкофазная, контроль атмосферы)

Окончательное уплотнение грузов из вольфрамовых сплавов зависит от технологии высокотемпературного спекания, особенно **жидкофазного спекания** , при котором между

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

частицами вольфрама могут образовываться жидкофазные мостики с помощью связующих металлов с низкой температурой плавления для ускорения процесса уплотнения при спекании.

Оборудование для спекания:

- Вакуумная печь для спекания (ниже 10^{-4} Па)
- Печь водородной защиты (чистота $\geq 99,999\%$)
- Точность регулирования температуры $\pm 5^{\circ}\text{C}$, равномерность температуры в печи $\pm 10^{\circ}\text{C}$

Параметры спекания:

- Диапазон температур: **1400–1500°C**
- Время выдержки: 4–12 ч, в зависимости от размера
- Скорость нагрева: 5–10°C/мин во избежание образования трещин
- Способ охлаждения: естественное охлаждение или охлаждение печью

Контроль атмосферы:

- **Водород** : сильные восстановительные свойства, предотвращает окисление, подходит для высокочистых вольфрамовых сплавов.
- **Вакуум** : подходит для слабомагнитных или низкоокислородных продуктов.
- **Инертный газ (Ar/N₂)** : используется для изделий с высокой стабильностью сплава.

Метод улучшения плотности спекания:

- Добавьте вспомогательные материалы в жидкой фазе (регулировка соотношения Ni, Cu);
- Использовать предварительно активированные спекающие добавки (например, Cr, Ti);
- Для удаления примесей и оксидных пленок вводится стадия предварительного спекания (600–800 °C).

После спекания плотность изделий обычно составляет **17,5-18,3 г/см³**, микропористость <0,5%, а показатели твердости и прочности могут достигать авиационных стандартов.

3.5 Технология механической обработки и размерной отделки

Вольфрамовый сплав отличается высокой твердостью и большой хрупкостью, а его обработка значительно сложнее, чем обработка обычных металлов, и требует использования специальных инструментов, охлаждающих жидкостей и технологических процессов.

1) Традиционная нарезка:

- **Точение** : использовать твердосплавный инструмент, скорость <100 м/мин, глубина резания $\leq 0,3$ мм;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Фрезерование** : рекомендуются концевые фрезы с эмульсионным охлаждением;
- **Сверление/нарезание резьбы** : низкая скорость подачи, используйте покрытие сверла (TiAlN) для увеличения срока службы сверла;
- Шероховатость обработанной поверхности может достигать Ra 1,2–3,2 мкм.

2) Шлифовка и полировка:

- Шлифование алмазным кругом, высокая эффективность и малая тепловая деформация;
- Полировка выполняется с использованием суспензии оксида алюминия/церия, а точность контролируется до Ra 0,5 мкм.

3) Электроэрозионная обработка (ЭЭО):

- Подходит для деталей специальной формы, глубоких отверстий и компонентов противовеса канального типа;
- В качестве электродных материалов в основном используются графит или медь, зазор между электродами составляет 0,1–0,2 мм;
- Шероховатость поверхности может достигать Ra 0,6 мкм, что подходит для деталей прецизионных медицинских приборов.

4) 3D-коррекция размеров и лазерная коррекция:

- Высококачественные противовесные изделия, такие как высокоточные коллиматоры и инерциальные блоки, используют технологию лазерной коррекции;
- Точность контроля размеров может достигать $\pm 0,01$ мм.

3.6 Нанотехнологии и методы упрочнения высокой плотности

Чтобы преодолеть ограничения традиционной порошковой металлургии и улучшить эксплуатационные характеристики вольфрамового сплава с точки зрения **высокой прочности, малых размеров и композитных функций**, в последние годы нанотехнологии и методы укрепления тканей стали приоритетными направлениями исследований.

Механизм наноулучшения:

- Наночастицы (такие как нанопорошок вольфрама, нанокарбид вольфрама) могут улучшить спекаемость и сцепление границ зерен;
- Наноармированный вольфрамовый сплав может увеличить прочность на растяжение до 15% и твердость примерно на 20%;
- В ходе проверки China Tungsten Intelligent Manufacturing 2024 после добавления 2 мас.% нанопорошка вольфрама (<100 нм) плотность увеличилась на 0,3 г/см³, а микропористость уменьшилась на 35%.

Усиление уплотнения означает:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Горячее изостатическое прессование (ГИП)** : вторичное уплотнение под действием высокой температуры и высокого давления (1500°C/100 МПа);
- **Многостадийное спекание** : низкотемпературное предварительное спекание – среднетемпературное зародышеобразование – высокотемпературное уплотнение для предотвращения укрупнения зерна;
- **Быстрое спекание (SPS)** : при использовании импульсного тока для мгновенного нагрева время спекания составляет <10 минут, а размер зерна контролируется в диапазоне 1-3 мкм.

Функциональное композиционное направление:

- Внедрение графеновых/углеродных нанотрубок для улучшения проводимости и характеристик электромагнитного экранирования;
- Добавление редкоземельных элементов (таких как La и Y) для повышения антиоксидантной устойчивости и устойчивости к высоким температурам;
- Поверхностные нанопокрyтия (такие как TiN, B₄C) повышают износостойкость и коррозионную стойкость.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

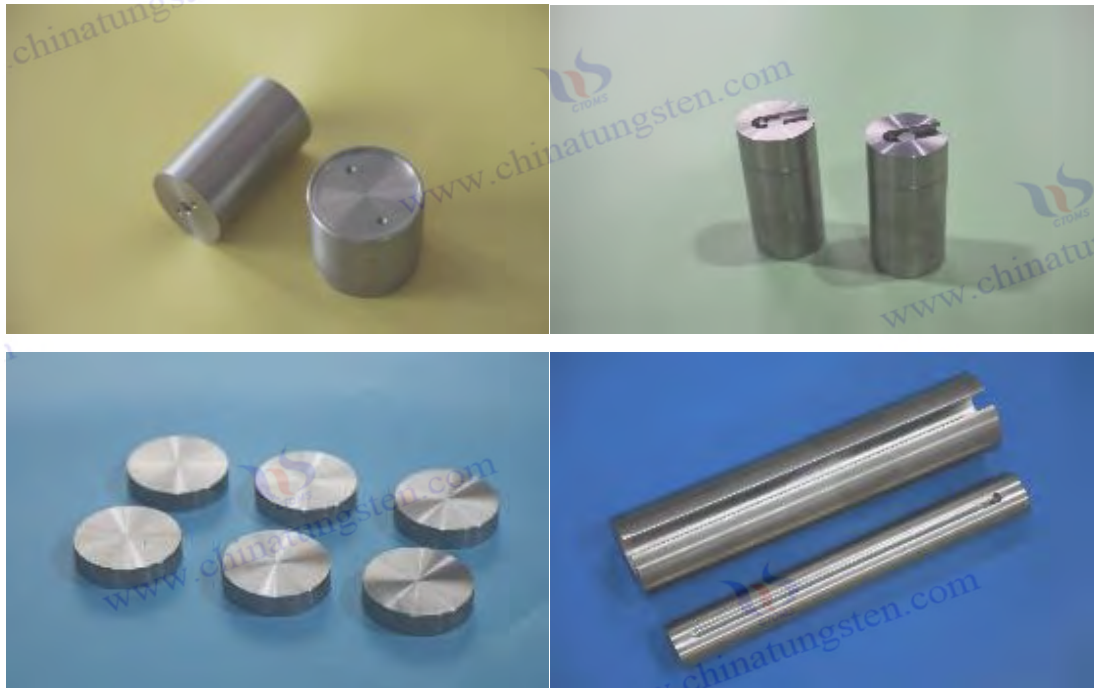
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



Глава 4. Эксплуатационные испытания и оценка качества противовесов из вольфрамового сплава

К противовесам из вольфрамового сплава, используемым в высокопроизводительном оборудовании, предъявляются чрезвычайно высокие требования. Их геометрическая точность, механическая прочность, чистота компонентов и микроструктура напрямую определяют надежность и срок службы системы противовесов. Поэтому при производстве и применении противовесов из вольфрамового сплава систематические испытания эксплуатационных характеристик и научные методы оценки качества имеют решающее значение. В этой главе подробно рассматриваются такие основные аспекты, как контроль геометрических размеров и плотности, стандарты механических характеристик, металлографический анализ, испытания компонентов, контроль качества поверхности и неразрушающий контроль, что позволяет сформировать комплексную систему оценки.

4.1 Геометрические размеры и методы определения плотности

Гири из вольфрамового сплава часто используются в системах с ограниченным пространством или высокой чувствительностью к весу, поэтому точность размеров и однородность плотности имеют решающее значение. К распространённым методам геометрических измерений относятся штангенциркули, лазерные интерферометры и координатно-измерительные машины (КИМ) с точностью измерения до $\pm 0,01$ мм. Для сложных геометрических конструкций промышленные оптические сканирующие системы также могут использоваться для анализа соответствия контуров, обеспечивая бесконтактное высокоточное трёхмерное обнаружение.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Вольфрамовый сплав, учитывая его высокую плотность и тяжесть, требует высокоточных методов определения плотности. Наиболее распространённым методом является метод Архимеда, подходящий для плотных спечённых тел. Формула расчёта: $\rho = \frac{m}{V}$, где m – вес в воздухе и V – вес в воде соответственно.

В высокотехнологичных случаях, например, в атомной промышленности или авиационных системах, для обеспечения равномерного распределения плотности и предотвращения ухудшения производительности из-за локальных пустот также можно использовать рентгеноплотностную флюорографию, технологию лазерной плотностной визуализации и дифференциальное измерение с помощью микровесов.

4.2 Стандарты испытаний механических свойств (ASTM, ISO)

Прочность на растяжение, предел текучести, относительное удлинение и твёрдость вольфрамового сплава являются ключевыми показателями для оценки его несущей способности. В соответствии со стандартами ASTM B777 и ISO 6892, для испытаний на растяжение используется универсальная испытательная машина. Образцы, как правило, представляют собой круглые стержни (диаметром 6 мм и длиной 60 мм). В ходе испытания контролируются скорость нагружения и температура окружающей среды.

Испытания на твёрдость обычно проводятся по методу Виккерса (HV10), усредняя показания более чем трёх точек в разных местах для оценки однородности. Для некоторых высокопрочных вольфрамовых сплавов дополнительно используют метод Бринелля (HBW) или метод Кнупа (HK), чтобы соответствовать требованиям испытаний при различных нагрузках.

Испытание на ударную вязкость проводится при комнатной температуре или при низкой температуре (например, -40 °C) на образцах Шарпи с V-образным вырезом или по методу Изода для определения сопротивления разрушению, что особенно подходит для случаев высоких динамических нагрузок в военной и авиационной технике.

Кроме того, всё большую важность приобретают испытания на усталость (многоцикловая и малоцикловая усталость) и испытания на ползучесть. В 2024 году многие компании включили испытания на циклическую нагрузку в процесс анализа технологических процессов. Стандарты испытаний включают ASTM E466, ISO 1099 и др.

4.3 Металлографическая структура и микроструктура

Наблюдая за спечённой структурой с помощью металлографического микроскопа (ОМ), сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) и электронно-зондовой микроскопии (ЭЗМ), можно оценить структурные характеристики, такие как размер зерна, пористость,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

распределение фаз и т. д. Однородность структуры напрямую связана с механическими свойствами и эксплуатационной стабильностью.

Оптическая металлография (ОМ) обычно используется для предварительной идентификации границ зерен и двухфазного распределения; сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) обеспечивает получение изображений высокого разрешения для наблюдения пор, источников трещин и интерметаллических фаз; энергодисперсионная спектроскопия (ЭДС) в сочетании с СЭМ используется для анализа состава интерфейса. Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) позволяет наблюдать нанофазы, плотность дислокаций и структуру границ зерен, что подходит для научных исследований и углубленной оценки.

Анализ размера частиц часто используется совместно с программным обеспечением для обработки изображений (например, ImageJ) для расчета класса размера частиц ASTM; анализ пористости использует метод распределения изображений в оттенках серого и расчет объемной доли, а результаты применяются для оценки качества спекания.

4.4 Анализ химического состава (ИСП, РФА)

Для обеспечения стабильности характеристик материала и безопасности эксплуатации необходимо точно анализировать содержание W, Ni, Fe (или Cu) в грузиках из вольфрамовых сплавов. К распространённым методам относятся масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) и рентгенофлуоресцентная спектроскопия (РФС).

ИСП-МС обладает чрезвычайно высокой чувствительностью и позволяет измерять примеси на уровне ppm или даже ppb (например, Mo, Pb, Ca, Si, C и т. д.), что подходит для применения в атомной энергетике, аэрокосмической промышленности и высокотехнологичной медицине. Для вольфрамовых сплавов, используемых в противовесах, обычно требуется отклонение содержания основного элемента менее $\pm 0,2\%$, а общее содержание примесей менее $0,1\%$.

РФА позволяет быстро определить содержание основных компонентов сплава и подходит для контроля партий в процессе производства. Преимуществами метода являются неразрушающий характер и высокая скорость анализа. Чтобы избежать влияния поверхностного окисления, часто требуется полировка образца или его испытание в среде аргона.

или анализ на углерод и серу (CS) также необходим для контроля содержания газа, чтобы предотвратить влияние окисления или включений на структурную плотность и эксплуатационные характеристики.

4.5 Контроль качества и шероховатости поверхности

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Грузики из вольфрамового сплава часто используются в плотно прилегающих деталях, и качество их поверхности напрямую влияет на точность сборки и эксплуатационную стабильность. Шероховатость поверхности часто выражается значением Ra, и целевой показатель обычно составляет 0,8–1,6 мкм. Методы испытаний включают в себя измерение шероховатости с помощью щупа, интерферометр белого света и лазерный конфокальный микроскоп.

Для высокотехнологичных применений, таких как противовесы аэрокосмических гироскопов и балансировочные блоки компьютерной томографии, значение Ra может быть менее 0,4 мкм. При контроле поверхности следует также обращать внимание на микротрещины, отслоения, пятна окисления, линии обработки и остаточные следы ножа. Для повышения эффективности контроля необходимо сочетать систему визуального контроля с алгоритмом автоматического распознавания дефектов.

Если для повышения износостойкости или коррозионной стойкости используется поверхностное покрытие (такое как NiP, Cr, TiN и т. д.), следует также провести испытание на адгезию (ASTM D3359), определение толщины (магнитная индукция или XRF) и оценку однородности покрытия.

4.6 Технологии неразрушающего контроля (ультразвук, рентген)

Для выявления внутренних дефектов ключевых конструктивных элементов необходимо проводить неразрушающий контроль. К распространённым методам относятся:

- Ультразвуковой контроль (УЗК): анализ внутренних пор, включений и трещин с помощью распространения высокочастотных звуковых волн, подходит для крупногабаритных или толстостенных противовесов;
- Рентгеновский контроль (RT): метод визуализации с высоким разрешением, позволяющий обнаружить расслоения, отслоения, отверстия и области неполного спекания;
- Промышленная компьютерная томография: позволяет получать 3D-изображения, подходящие для анализа дефектов сложных форм и микрокомпонентов. Алгоритмы искусственного интеллекта обеспечивают автоматическую классификацию и отслеживание дефектов.
- Магнитопорошковый контроль (МПК) и капиллярный контроль (КПК): используются для обнаружения поверхностных или подповерхностных трещин и часто применяются на этапе окончательной проверки процесса.

На практике несколько методов неразрушающего контроля часто объединяются для формирования комплексной системы контроля. Например, процесс контроля компонента авиационного противовеса включает в себя ультразвуковой, компьютерный контроль и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

поверхностную дефектоскопию, что повышает процент прохождения испытаний на 15% и значительно снижает объем доработки.

Подводя итог, можно сказать, что система испытаний и оценки качества противовесов из вольфрамового сплава должна охватывать множество аспектов, включая макроскопические размеры, микроструктуру, физические и химические свойства, а также общую надежность, что является основой обеспечения их стабильной работы в экстремальных условиях. Поскольку требования к надежности, прослеживаемости и постоянству партий противовесов продолжают расти, будущая оценка качества будет все больше опираться на интеграцию различных технологий, интеллектуальное обнаружение и методы анализа данных для поддержки цифровой и интеллектуальной модернизации производства противовесов из вольфрамового сплава.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



Глава 5. Применение противовесов из вольфрамовых сплавов в аэрокосмической технике

Вольфрамовый сплав стал важным материалом для противовесов в аэрокосмической отрасли благодаря своей высокой плотности, прочности, превосходной коррозионной стойкости и хорошей термической стабильности. Рациональное проектирование и применение противовесов не только влияют на эксплуатационные характеристики, безопасность и срок службы летательного аппарата, но и напрямую влияют на скорость реакции и точность системы управления полетом. В этой главе будут систематизированы основные области применения противовесов из вольфрамового сплава в самолетах, спутниках, ракетах и системах оборонного вооружения.

5.1 Регулировка центра тяжести самолета и балансировочный груз управления полетом

При проектировании и эксплуатации современных воздушных судов точное управление центром тяжести является одним из важнейших звеньев, обеспечивающих безопасность и летно-технические характеристики. В особенности для высокотехнологичных авиационных платформ, таких как военные истребители, бизнес-джеты, крупные гражданские авиалайнеры и гиперзвуковые летательные аппараты, рациональная система противовесов не только влияет на устойчивость полета и чувствительность управления, но и напрямую определяет срок службы конструкции и эксплуатационные расходы воздушного судна.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Противовесы из вольфрамового сплава стали незаменимым ключевым материалом для регулирования центра тяжести в авиации благодаря своей высокой плотности, малым размерам, структурной устойчивости и адаптивности к окружающей среде.

5.1.1 Важность центра тяжести самолета

Как воздушное судно с двигателем, положение самолёта в полёте зависит от взаимодействия центра тяжести и аэродинамического центра. Центр тяжести (ЦТ) должен контролироваться в определённом диапазоне и немного опережать центр подъёмной силы для обеспечения устойчивости полёта и хорошей управляемости. Если центр тяжести смещён вперёд, нос самолёта будет слишком тяжёлым, подъёмная сила будет недостаточной, и взлёт будет затруднён; если центр тяжести смещён назад, хвост может быть слишком тяжёлым, тангаж может стать нестабильным или даже привести к сваливанию.

Кроме того, центр тяжести оказывает существенное влияние на следующие показатели эффективности:

- **Соответствие подъемной силы и сопротивления самолета** : эксцентриситет увеличит угол атаки, необходимый для корректировки положения, что приведет к дополнительному сопротивлению;
- **Экономия топлива и дальность полета** : если центр тяжести отклоняется от проектного значения, автоматическая система управления полетом будет часто корректировать положение, увеличивая расход топлива;
- **Безопасность полетов и срок службы конструкции** : Экстремальные положения центра тяжести склонны вызывать усталостные трещины конструкции и аварии из-за потери управления.

Поэтому необходимо использовать точную конструкцию противовеса для размещения блоков высокой плотности в различных конструкциях фюзеляжа с целью достижения точной настройки и оптимизации центра тяжести.

5.1.2 Преимущества противовесов из вольфрамового сплава

Вольфрамовый сплав (W-Ni-Fe, W-Ni-Cu и т.д.) благодаря своим превосходным физическим и химическим свойствам обладает следующими преимуществами в системах противовесов самолетов:

- **Сверхплотный**
вольфрамовый сплав имеет плотность 17,0–18,5 г/см³, что значительно выше, чем у традиционной стали (~7,8 г/см³) и алюминиевого сплава (~2,7 г/см³), а также лучше, чем у свинца (11,3 г/см³). Это позволяет вольфрамовому сплаву обеспечивать достаточную массу в очень ограниченном пространстве, что делает его пригодным для сложных и компактных конструктивных решений, таких как законцовки крыла, рули направления и внутренние части шасси.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Отличная механическая прочность и усталостная долговечность.**
Вольфрамовый сплав обладает высокой прочностью на разрыв (>700 МПа) и превосходной усталостной прочностью. Он способен выдерживать высокие перегрузки, высокоскоростную вибрацию и длительные циклические нагрузки, обеспечивая длительную и стабильную работу противовеса.
- **Адаптация к высокотемпературным средам:**
температура плавления вольфрама достигает 3410 °C, а его сплав также демонстрирует отличную термостойкость при высоких температурах, что делает его очень подходящим для областей с резкими перепадами температур, таких как периферия двигателя и области высокоскоростного воздушного потока.
- **Экологичный и нетоксичный.**
В отличие от материалов на основе свинца, вольфрамовый сплав нетоксичен и нерадиоактивен для организма человека. Он соответствует международным экологическим нормам, таким как REACH и RoHS, и подходит для применения в условиях строгих экологических требований, например, в гражданских авиалайнерах и бизнес-джетах.

5.1.3 Конкретное применение регулировки центра тяжести самолета

Противовесы из вольфрамового сплава широко используются в авиационных системах, в основном в следующих аспектах:

- В процессе изготовления и установки различные рулевые поверхности самолёта могут быть разбалансированы из-за неравномерного распределения массы, что влияет на точность управления полётом и аэродинамическую устойчивость. Противовесы из **вольфрамового** сплава встроены в рулевую поверхность или установлены на её задней кромке для точной регулировки положения центра тяжести, что обеспечивает статическое и динамическое равновесие рулевой поверхности.
- **Отсек шасси и внутренний точный противовес основного крыла.**
Шасси вызывает значительные колебания центра тяжести во время уборки и выпуска. В отсек шасси или основную конструкцию крыла можно установить блоки из вольфрамового сплава для компенсации этих колебаний с помощью прецизионных противовесов, обеспечивающих устойчивость продольного центра тяжести во время полета.
- **Оптимизация балансировки кабины и электронного оборудования.**
При плотной компоновке электронных компонентов в кабине и переднем приборном отсеке конструкция часто выглядит перегруженной в передней части и лёгкой в хвостовой части. В этом случае противовесы из вольфрамового сплава могут быть размещены в хвостовой или средней части для корректировки центра тяжести всего самолёта и повышения устойчивости в полёте.
- **Регулировка нагрузки на летательных аппаратах специального назначения,**
таких как разведывательные беспилотники и истребители, требует быстрой корректировки веса в зависимости от типа и положения крепления. Модульная

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

система грузов из вольфрамового сплава обеспечивает быструю сборку и разборку, повышая боевую эффективность и безопасность полетов.

- **Механизм компенсации расхода топлива.**

Во время дальних полётов расход топлива в переднем или среднем баке приводит к смещению центра тяжести назад. Для компенсации этого смещения в хвостовой части самолёта можно предварительно установить противовесы из вольфрамового сплава, гарантируя, что центр тяжести всего самолёта всегда будет находиться в пределах зоны безопасности, что повышает эффективность полёта и обеспечивает резервирование безопасности.

5.1.4. Вопросы проектирования и установки

Противовесы из вольфрамовых сплавов в конструкциях самолетов должны строго соответствовать следующим принципам:

- **Индивидуальное проектирование конструкции:**

Распределение веса, необходимое для каждой модели самолета и даже для каждого самолета, различно. Форма, размер и распределение массы утяжелителей из вольфрамового сплава должны быть адаптированы в соответствии с CAD-моделью самолета и данными конечно-элементного моделирования. Распространенные геометрические формы включают длинные полосы, блоки, цилиндры и встроенные модули.

- **из методов соединения и**

монтажа структурно-интегрированных противовесов обычно используют:

1. **Крепление болтами/заклепками** : подходит для съемных частей конструкции, подлежащих обслуживанию, для облегчения ремонта или замены.
2. **Обертывание и встраивание композитного материала** : встраивание вольфрамового сплава в композитный руль или структурную раму из углеродного волокна для уменьшения веса и повышения термостойкости и коррозионной стойкости.
3. **Регулируемый выдвижной модуль противовеса** : используется в испытательных или экспериментальных самолетах, положение можно гибко регулировать для оптимизации параметров полета.

- **Конструкция, обеспечивающая адаптацию к условиям окружающей среды.**

Противовесы самолётов должны быть адаптированы к таким условиям полёта, как большая высота и низкое давление, чередование высоких и низких температур, а также сильная вибрация. Поэтому поверхность блоков из вольфрамового сплава обычно анодируется, покрывается фтором или покрывается методом PVD для предотвращения окисления и коррозии.

- **Избыточная конструкция безопасности.**

Все противовесы должны быть надежно закреплены и не должны подвергаться риску падения во время полета. В конструкции следует предусмотреть несколько

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

резервных механизмов на случай отказа соединительной конструкции, таких как болты, препятствующие ослаблению, ограничители, клеи и структурные клеи.

5.1.5 Практические примеры и тенденции развития

- **Пример: Система вольфрамовых противовесов хвостового отсека дальнемагистрального бизнес-джета определённого типа**
расположена рядом с отсеком электронного оборудования в хвостовой части самолёта. В конструкции предусмотрена группа модулей противовесов из вольфрамового сплава, изготовленных по индивидуальному заказу. Общая масса противовеса составляет 45 кг, что позволяет контролировать отклонение центра тяжести в пределах $\pm 1,5\%$ на протяжении всего полёта, значительно увеличивая дальность полёта и устойчивость.
- **Пример: Механизм точной настройки противовеса руля направления военных истребителей**. Микрогрузы из вольфрамового сплава используются для регулировки чувствительности управляющих поверхностей крыла. Их положение можно точно настроить через порт обслуживания, и они образуют замкнутый контур компенсации в сочетании с цифровой системой управления полётом.
- **Будущие тенденции.**
С развитием интеллектуального управления полетом и интеграции нескольких датчиков система противовеса также будет развиваться в сторону **адаптивной системы противовеса**: положение и масса модуля противовеса регулируются интеллектуальными приводами для обеспечения контроля центра тяжести в режиме реального времени во время полета. В то же время **композитные материалы из вольфрамового сплава**, **3D-печатные вольфрамовые конструкции** и **технология интегрированных противовесов из высокоэнергетических модулей вольфрамлиния** также внесут новые изменения в конструкцию противовеса в авиации.

5.2 Противовес спутника и инерциальная система управления

В системах ориентации и стабилизации орбиты космических аппаратов проектирование противовесов является важнейшей инженерной задачей. Долгосрочная и точная работа систем ориентации и инерциальной системы, особенно для современных спутников, оснащенных высокоточными приборами и сложными модулями управления, зависит от строжайшего контроля качества конструкции. Вольфрамовый сплав, являющийся основным материалом противовеса в инерциальной системе управления современных космических аппаратов, широко используется в компонентах инерциальных измерительных систем, гироскопах, инерциальных колёсных системах и системах центровки спутников благодаря своей высокой плотности, превосходным термическим свойствам и стабильным механическим свойствам.

5.2.1 Введение в спутниковую инерциальную систему управления

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Находясь на орбите, спутник должен поддерживать высокоточную ориентацию и управлять орбитой, чтобы обеспечить стабильное выполнение таких задач, как связь, дистанционное зондирование, навигация и научные исследования. Эту задачу в основном выполняет инерциальная система управления (ИСУ), основными компонентами которой являются:

- **Инерциальный измерительный блок (ИИБ)** : состоит из акселерометра и гироскопа и используется для обнаружения изменений линейного ускорения и угловой скорости спутника в трехмерном пространстве в реальном времени.
- **Реактивный маховик (RWA)** : используется для поддержания и управления ориентацией, изменяя угловой момент спутника путем регулировки скорости маховика.
- **Колеса импульса и гироскопы управления моментом (CMG)** : обеспечивают стабильный выходной сигнал для высокоточного управления и широко используются в спутниках дистанционного зондирования с высоким разрешением и космических телескопах.

В этих системах эффективность инерциальных элементов существенно зависит от динамического баланса и концентрации масс системы противовесов. Противовесы из вольфрамового сплава интегрированы в маховик, корпус гироскопа или основание системы для точной регулировки момента инерции и повышения устойчивости инерциальной системы.

5.2.2 Преимущества вольфрамового сплава в противовесах спутников

Вольфрамовый сплав в противовесах для аэрокосмической техники является важным символом развития аэрокосмических материалов. Его преимущества отражены в нескольких ключевых аспектах:

- **Чрезвычайно высокая плотность, экономящая объём и массу.**
Плотность вольфрамового сплава достигает 18,0–18,5 г/см³, что позволяет создать высококачественный противовес в очень компактной конструкции, отвечающий строгим требованиям по пространству и весу, предъявляемым к миниатюрным и лёгким спутникам. Это особенно важно для новых космических аппаратов, таких как микроспутники, наноспутники и кубсаты.
- **Отличная термостабильность:**
на орбите спутники выдерживают перепады температур от -200 °C до более чем +150 °C. Вольфрамовый сплав обладает низким коэффициентом теплового расширения (около $4,5 \times 10^{-6}/K$), хорошей теплопроводностью и высокой структурной стабильностью. Он не вызывает концентрации напряжений и смещения масс вследствие теплового расширения и сжатия, что обеспечивает долговременную стабильную работу инерциальной системы.
- **Превосходная механическая прочность и долговечность.**
Вольфрамовый сплав обладает прочностью на разрыв более 700 МПа и очень высоким пределом усталости. Он способен выдерживать сильные вибрации, удары и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

сверхзвуковые аэродинамические нагрузки во время запуска космического аппарата, гарантируя, что конструкция противовеса не деформируется, не ослабнет и не будет повреждена в течение более чем десяти лет орбитальной эксплуатации.

- **Немагнитность и низкая скорость утечки газа.**

Для научных спутников или оптических платформ, предъявляющих чрезвычайно высокие требования к магнитной чистоте, использование маломagnetных вольфрамовых сплавов, таких как W-Ni-Cu, позволяет избежать помех, вызванных магнитным полем. В то же время, низкая скорость утечки гарантирует отсутствие выбросов загрязняющих газов в вакуумную среду, что соответствует стандартам чистоты для космических применений.

5.2.3 Практика проектирования инерциального противовеса спутника

Вольфрамовый сплав в системе противовеса спутника можно обобщить следующими типичными областями применения:

- **Инерционное колесо/противовес реактивного колеса.**

Инерционное колесо является основным приводным механизмом для регулирования положения, и его выходной угловой момент тесно связан с моментом инерции. Размещение противовесов из вольфрамового сплава по окружности маховика позволяет увеличить его угловой момент без значительного увеличения его размеров, обеспечивая более быструю реакцию на регулировку положения и больший запас управляемости.

- **В гироскопической системе**

вольфрамовый сплав используется в качестве грузика ротора или корпуса для уменьшения нелинейного отклонения системы и повышения точности измерения положения. В некоторых высокопроизводительных волоконно-оптических гироскопах и микромеханических гироскопах (МЭМС-гироскопах) сверхмалые грузики из вольфрама также используются для оптимизации характеристик отклика датчика.

- **Система точной настройки центра тяжести всей системы спутника.**

В процессе сборки спутника или интеграции полезной нагрузки для достижения точного соответствия центра тяжести требованиям к ориентации на орбите в несущую раму часто предварительно устанавливается сменный блок противовеса из вольфрамового сплава, обеспечивающий проектное положение центра тяжести посредством динамической регулировки распределения. Такая конструкция обеспечивает высокую гибкость на этапе наземной отладки.

- **Система противовесов для подавления микровозмущений и резонансов.**

Когда спутник находится на орбите, на него воздействуют такие возмущения, как гравитационный градиент, солнечное давление и геомагнитное поле, которые могут легко вызвать структурную вибрацию. На определённой частоте блоки из вольфрамового сплава могут быть объединены с высокodemпирующими материалами (например, кремний и композитные материалы на основе алюминия),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

образуя систему демпфирующих противовесов для поглощения энергии микровибраций и повышения устойчивости платформ для получения изображений или научных полезных нагрузок.

5.2.4 Тенденции будущего развития

По мере того, как космические технологии развиваются в сторону «миниатюризации, высокой надежности и интеллекта», разработка вольфрамовых сплавов в системах противовесов спутников также демонстрирует следующие тенденции:

- **Кубические спутники и спутниковые группировки требуют точной регулировки противовеса**

в очень малом объеме. Сверхмалые модули из вольфрамового сплава (например, чешуйки и гранулы весом менее 1 г) используются в сочетании с подвижными монтажными механизмами (такими как микросуппорты и магнитные модули) для достижения микронной регулировки центра тяжести, что позволяет создать недорогую и высокопроизводительную систему малых спутников.

- **3D-печать и интеллектуальное производство из вольфрамового сплава**
Благодаря развитию

технологий аддитивного производства, таких как плавка в порошковом слое (SLM) и электронно-лучевая плавка (EBM) в области тугоплавких металлов, инерционные компоненты из вольфрамового сплава в будущем получают возможность формировать цельные детали специальной формы и интегрировать структурные функции, что значительно повысит структурную компактность и эффективность сборки компонентов противовеса.

- **Интеллектуальная динамическая система противовеса**

предназначена для космических телескопов, крупных радаров и высокоскоростных спутников с изменяемой орбитой. В будущем планируется исследовать «адаптивный блок противовеса» в сочетании с инерциальной системой, использовать микродвигатели или электротермические приводы для оперативной регулировки положения противовеса, а также улучшить возможности системы по самостабилизации и самовосстановлению после сбоев.

- **Экологичные материалы и перерабатываемые вольфрамовые сплавы**

. В условиях борьбы с космическим мусором и тенденций к устойчивому производству, материалы из вольфрамовых сплавов для аэрокосмической промышленности также развиваются в сторону пригодности к переработке и снижения уровня загрязнения окружающей среды. Новые экологически чистые связующие (например, безникелевые и безуглеродные) вольфрамовые сплавы станут основным материалом для противовесов инерциальных систем аэрокосмической техники следующего поколения.

5.3 Технология хвостового груза ракет и ракет

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

В современных авиационных системах вооружения и аэрокосмических аппаратах хвостовой киль, являясь ключевым аэродинамическим элементом управления, не только определяет возможность изменения положения в пространстве, но и напрямую влияет на устойчивость и точность управления траекторией полета. Динамическая чувствительность и структурная устойчивость хвостового киля особенно важны в условиях гиперзвукового полета, сложных маневренных разворотов или боевых действий с высокими перегрузками. Для удовлетворения этих строгих требований технология противовесов из вольфрамовых сплавов стала неотъемлемой частью конструкции хвостового киля ракет и снарядов.

5.3.1 Обзор хвостовой части ракеты и управления полетом ракеты

Управление устойчивостью полёта и манёвренностью ракет и снарядов зависит от скоординированной работы множества ключевых компонентов, среди которых хвостовое оперение является основным исполнительным механизмом, обеспечивающим стабилизацию положения полёта и динамическую устойчивость. Хвостовое оперение изменяет направление воздушного потока, создавая аэродинамические силы в боковом направлении или по тангажу, обеспечивая стабилизацию курса, ориентацию и коррекцию конечного положения.

В зависимости от назначения и конфигурации хвостовые плавники можно разделить на следующие категории:

- **Фиксированный стабилизатор** : обычно используется в ракетах средней и низкой скорости, имеет простую конструкцию и обеспечивает базовую устойчивость.
- **Подвижный плавник** : сервопривод позволяет регулировать положение в реальном времени во время полета.
- **Складные или раскрывающиеся хвостовые стабилизаторы** : используются на переносных или многоступенчатых ракетах, которые раскладываются после запуска для экономии места в пусковой трубе.
- **Управление вектором тяги с управляемым хвостовым оперением** : используется совместно с регулировкой вектора тяги двигателя для улучшения высокой маневренности.

В этих конструкциях распределение массы, момент инерции и структурная прочность хвостового оперения напрямую влияют на эффективность работы системы управления полетом. Точно спроектированный противовес из вольфрамового сплава позволяет не только оптимизировать центр тяжести летательного аппарата, но и значительно повысить динамическую устойчивость хвостового оперения, что является ключевым фактором интеграции современных систем управления полетом.

5.3.2 Преимущества использования грузов из вольфрамового сплава в хвостовых киях

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Вольфрамовый сплав стал предпочтительным материалом для хвостовых грузов ракет и снарядов благодаря своим превосходным физико-механическим свойствам. Его основные преимущества включают:

- **Чрезвычайно высокая плотность, обеспечивающая высокое качество при малом объёме. Плотность противовеса из вольфрамового сплава**
достигает 18,0–18,5 г/см³, что в 2,4 раза больше плотности стали и более чем в 7 раз больше плотности алюминия. В компактном хвостовом крыле, к которому предъявляются высокие требования по аэродинамике, достижение необходимой массы при малых размерах способствует снижению сопротивления воздуха, поддержанию обтекаемой формы и оптимизации расположения центра тяжести всего самолёта.
- **Отличная механическая прочность и ударопрочность:**
прочность на сжатие вольфрамового сплава превышает 1000 МПа, что позволяет выдерживать сильные удары, перегрузки, крутящий момент и мгновенную вибрацию, возникающие во время полета, эффективно обеспечивая целостность хвостовой конструкции.
- **Отличная стойкость к высоким температурам и коррозии.**
При полёте ракет и снарядов в зонах с высоким тепловым потоком в атмосфере поверхность хвостового оперения может мгновенно подвергаться воздействию температур в сотни градусов. Вольфрамовый сплав имеет температуру плавления до 3420 °C и не деформируется даже при термических ударах. Кроме того, его стойкость к окислению и воздействию кислот выше, чем у большинства металлов, что способствует обеспечению стабильности работы противовеса при длительной эксплуатации.
- **Немагнитные/слабомагнитные дополнительные материалы.**
Некоторые тактические ракеты и высокоточные ракеты чрезвычайно чувствительны к магнитным помехам. Для обеспечения отсутствия помех от противовеса в работе электронного навигационного оборудования и датчиков положения в пространстве можно использовать маломангнитные вольфрамовые сплавы W-Ni-Cu.

5.3.3 Основные моменты конструкции хвостового противовеса

Целью утяжеления хвостовой части является повышение устойчивости, скорости отклика и точности управления полётом за счёт точной конфигурации массы. При проектировании следует обратить внимание на следующие ключевые моменты:

- **корректировки и оптимизации распределения силы тяжести.**
Хвостовая часть расположена далеко от центра летательного аппарата, и её противовес оказывает большее влияние на общий центр тяжести. Правильное расположение блоков из вольфрамового сплава внутри хвостовой части или в корневой части крыла позволяет точно настроить продольный или тангажный центр

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

тяжести летательного аппарата для достижения динамической балансировки, что особенно важно для высокомобильных ракет и высокоскоростных орбитальных ракет.

- **Улучшает управляемость и устойчивость полёта.**

Хвостовой груз может регулировать локальный момент инерции, улучшая устойчивость полёта. В системе автоматического управления это помогает подавить нелинейную реакцию хвоста, вызванную возмущениями, и избежать чрезмерных корректировок, приводящих к дрейфу траектории полёта.

- **Структурная интеграция и интегрированное проектирование.**

Современные ракетные конструкции, как правило, лёгкие и интегрированные. Противовесы из вольфрамового сплава обычно проектируются совместно с хвостовыми стабилизаторами из углеродного волокна и интегрируются в них закладным, вложенным или клеевым способом, что позволяет уменьшить количество винтов, сварных соединений и других соединений, повысить надёжность и упростить обслуживание.

- **Аэродинамическую оптимизацию конструкции**

компоновки противовеса необходимо сочетать с анализом CFD (вычислительной гидродинамики), чтобы гарантировать, что она не нарушит распределение подъемной силы хвостового крыла и не вызовет помех от вихрей, тем самым сохраняя хорошую аэродинамическую эффективность полета.

5.3.4 Анализ случаев применения

Технология изготовления хвостовых грузов из вольфрамового сплава широко применяется во многих типах ракет и ракетных систем. Ниже приведены два типичных случая:

- **Оптимизация системы хвостового веса ракет класса «воздух-земля».**

Некоторые типы высокоточных ракет класса «воздух-земля» используют складной композитный хвостовой стабилизатор с небольшим блоком противовеса из вольфрамового сплава, расположенным рядом с хвостовым шарниром. Повышение устойчивости и скорости реакции хвостового стабилизатора после складывания и раскладывания обеспечивает большую устойчивость ракеты в конечном полёте. Фактические данные измерений показывают, что точность попадания повышается на 10%, а помехозащищённость – на 25%.

- **Система стабилизации ракеты-носителя для малых спутников.**

В лёгкой орбитальной ракете-носителе используются специальные полосы из вольфрамового сплава по обеим сторонам хвостового кия, которые встроены в композитную конструкцию крыла посредством структурного гнездования для регулирования устойчивости летательного аппарата по тангажу и рысканию. Такая конструкция эффективно снижает проблему колебаний по рысканию на ранней стадии запуска и приближает траекторию запуска к теоретической кривой.

5.3.5 Тенденции будущего развития

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

С развитием гиперзвукового оружия и интеллектуальных высокоточных ударных платформ технология систем хвостового груза также развивается, и в будущем могут возникнуть следующие тенденции:

- **Технология интеллектуального микропротивовеса и динамического реагирования**

Будущие хвостовые крылья могут использовать систему микрорегулируемого противовеса на основе структуры МЭМС в сочетании с сервоконтроллером и интеллектуальным алгоритмом для достижения точной настройки распределения массы во время полета с целью адаптации к различным фазам полета и аэродинамическим условиям.

- **по разработке функциональной интеграции**

композитных материалов на основе вольфрама сочетает вольфрамовый сплав с легкими материалами, такими как углеродное волокно и керамическая матрица, для изготовления композитного хвостового крыла, имеющего функции противовеса, структурной опоры и тепловой защиты, тем самым повышая общую эффективность использования веса.

- **Конструкция противовеса с низкой радиолокационной видимостью**

предназначена для борьбы с малозаметными ракетами и малозаметными самолетами. Конструкция противовеса должна учитывать характеристики отражения электромагнитных волн и минимизировать эффективную площадь рассеяния (ЭПР) за счет нанесения покрытия и оптимизации формы.

- **Интегрированная конструкция хвостового крыла, изготовленная методом аддитивного производства,**

использует технологию 3D-печати для одновременной печати модуля противовеса из вольфрамового сплава и рамы хвостового крыла, формируя их в единое целое и обеспечивая бесшовную интеграцию, что сокращает производственный цикл, увеличивает свободу проектирования и предоставляет больше пространства для сложной аэродинамической оптимизации.

5.4 Управление вибрацией самолета и реактивная масса

Поскольку характеристики современных самолетов продолжают улучшаться, спрос на легкие конструкции и высокоскоростной полет привел к тому, что самолеты сталкиваются с более сложными проблемами вибрации во время эксплуатации. Будь то реактивный авиалайнер, беспилотник, ракета или спутник, на них будут влиять такие факторы, как работа двигателя, структурный резонанс, аэродинамические возмущения и изменения эксплуатационных нагрузок во время полета, вызывающие вибрацию. Чтобы обеспечить структурную целостность самолета, устойчивость системы управления полетом, а также безопасность и комфорт персонала и оборудования, необходимо принять эффективные стратегии контроля вибрации. Среди них технология блока реактивной массы как пассивный или полупассивный метод снижения вибрации играет все более важную роль в системах контроля вибрации самолетов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Вольфрамовый сплав, обладающий сверхвысокой плотностью, превосходной механической и термической стабильностью, стал предпочтительным материалом для изготовления блоков реактивных масс. Компактность, усталостная прочность и коррозионная стойкость позволяют ему обеспечивать длительное и эффективное гашение вибраций в экстремальных условиях полета.

5.4.1 Обзор проблем вибрации самолетов

Проблемы вибрации, с которыми сталкиваются самолеты во время полета, сложны и разнообразны, и к основным источникам относятся:

- **Работа двигателя** : высокоскоростные вращающиеся компоненты, такие как турбины, компрессоры и гребные валы, будут вызывать периодические механические вибрации, которые особенно заметны во время ускорения при взлете и изменения тяги.
- **Аэродинамические возмущения** : во время высокоскоростного полета нестабильное возбуждение воздушного потока на крыльях, хвосте и других внешних конструкциях может вызвать структурный резонанс.
- **Самовозбуждающаяся вибрация конструкции** : при определенных условиях эксплуатации между внутренним оборудованием и компонентами самолета могут возникать связанные вибрации, в результате чего увеличивается вибрация всего самолета.
- **Изменения эксплуатационной нагрузки** : Быстрые изменения перегрузки, вызванные управлением пилота, корректировкой положения или маневренным полетом, вызывают мгновенную динамическую реакцию конструкции.

Если эти вибрации не контролировать эффективно, они могут привести к следующим последствиям:

- Ускоренная структурная усталость сокращает срок службы ключевых компонентов;
- Увеличение ошибок навигации и управления ориентацией;
- Снижается точность измерений прибора и искажаются данные;
- Снижение комфорта для экипажа в кабине;
- В некоторых случаях это может привести к нестабильности системы и повлиять на безопасность полетов.

Таким образом, технология снижения вибраций стала одной из ключевых областей общего интереса для проектирования конструкций, энергетических систем и электронных систем в конструкции самолетов.

5.4.2 Механизм реакции массы

Реактивная масса — это виброгасящий элемент конструкции, работающий по принципу системы «масса-пружина-демпфер». Основная идея заключается в следующем:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Благодаря использованию группы блоков определенной массы при вибрации системы за счет инерции создается сила реакции, направленная в противоположном направлении относительно основной конструкции, тем самым компенсируя часть или всю энергию вибрации.

Блоки реакционной массы по конструктивной форме и способу управления можно разделить на следующие типы:

- **Пассивный тип** : использует согласование собственных частот и подбирает резонансную частоту, близкую к частоте структурных колебаний, для достижения цели снижения вибрации.
- **Полуактивный/настраиваемый инерционный демпфер (TMD)** : улучшает адаптивность за счет регулирования амплитуды отклика с помощью демпфирующих материалов или управляющих сред.
- **Активное управление вибрацией** : объединяет электромагнитные или гидравлические устройства для регулировки отклика в реальном времени, но редко используется в аэрокосмической отрасли.

Вольфрамовый сплав позволяет концентрировать массу в очень малом объеме, увеличивая силу реакции и концентрируя частотную характеристику, что особенно актуально для самолетов с ограниченным пространством и четкой частотой колебаний. Например, в спутниковых платформах или кабинах управления ориентацией ракет, где объем строго ограничен, реактивные блоки из вольфрамового сплава могут эффективно заменить крупные пружинные системы, обеспечивая компактную и эффективную конструкцию для снижения вибрации.

Требования к конструкции реакционной массы из вольфрамового сплава

Реакционная масса из вольфрамового сплава зависит от точности её структурного проектирования и стабильности свойств материала. Основные требования к конструкции следующие:

- **Выбор материалов высокой плотности и прочности:**
вольфрамовый сплав имеет плотность до $18,5 \text{ г/см}^3$, что значительно выше плотности таких металлов, как сталь и медь, при том же объеме, и позволяет достичь максимальной силы реакции на единицу объема. Высокая прочность на растяжение и сжатие гарантирует, что он не деформируется и не разрушается при высоких динамических нагрузках.
- **Точность расчета массы и положения**
зависит от точности соответствия целевой частоте. Масса, положение распределения и угол установки блока из вольфрамового сплава должны быть тщательно рассчитаны на основе модального анализа конструкции самолета и динамического моделирования, чтобы избежать рассогласования частот или связанного резонанса.
- **Экологическая стабильность и срок службы**
Вольфрамовый сплав обладает чрезвычайно высокой коррозионной стойкостью,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

радиационной стойкостью и термической стабильностью и подходит для длительной эксплуатации в пограничном слое атмосферы, на большой высоте и при низких температурах или на низкой околоземной орбите, гарантируя, что эксплуатационные характеристики противовеса не ухудшатся из-за окисления и усталости.

- **Регулируемость и модульная структура**

. При изменении миссий и сложных сценариях управления полетом конструкция модулей противовеса из вольфрамового сплава с регулируемыми структурами позволяет добиться быстрой настройки на месте путем изменения положения или количества массовых блоков, что улучшает техническое обслуживание и адаптивность.

5.4.4 Примеры применения

Реакционная масса из вольфрамового сплава была проверена на различных авиационных платформах. Основные области применения включают:

- **Контроль вибрации газотурбинного двигателя**

. В определённом типе военного газотурбинного двигателя реактивный блок из вольфрамового сплава расположен на краю диска лопатки за главным валом, и инерционная сила воздействует на вращательный дисбаланс основной конструкции, подавляя структурную вибрацию определённой частоты. Измеренные данные показывают, что амплитуда колебаний лопатки снижается примерно на 40%, а срок службы двигателя увеличивается более чем на 20%.

- **Система стабилизации положения спутника и система управления ориентацией, снижающая вибрацию.**

В платформах малых спутников связи в систему управления ориентацией спутника встроены маховики из вольфрамового сплава для создания управляемого углового момента. Внутренняя конструкция, снижающая вибрацию, амортизирует микровибрации, возникающие при запуске маховика, эффективно снижая ошибки регулировки положения и повышая точность наблюдения и связи.

- **Подавление вибраций во время полета ракеты.**

Некоторые типы ракет воздушного базирования испытывают интенсивные вибрации из-за сверхзвукового полета, и ранние версии испытывают проблемы с неустойчивостью рыскания в конечной точке. Размещение блока реактивной массы из вольфрамового сплава в середине корпуса ракеты и его сочетание с вязкоупругими демпфирующими материалами значительно подавляет вертикальные и радиальные вибрации, а точность попадания повышается на 12%.

- **В ходе летных испытаний системы подавления вибрации гиперзвукового проверочного самолета при высоком числе Маха блок реактивной массы из вольфрамового сплава взаимодействует с бортовым датчиком для достижения регулировки реакции на вибрацию в реальном времени, обеспечивая малошумную среду для сбора данных управления полетом.**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.4.5 Тенденции будущего развития

По мере того, как конструкции самолётов продолжают развиваться в сторону уменьшения веса, толщины и повышения степени интеграции, требования к надёжности и устойчивости продолжают расти. Технология изготовления блоков реактивной массы из вольфрамовых сплавов также сталкивается с новыми вызовами и возможностями:

- **Интеллектуальная система подавления вибраций**
может быть интегрирована с микродатчиками и блоками управления MEMS. В сочетании с системой управления полётом она может автономно определять состояние вибрации и регулировать частоту отклика в режиме реального времени, создавая «интеллектуальный противовес».
- **Сложной структуры из сплава вольфрама с помощью 3D-печати**
позволяет перерабатывать вольфрамовый сплав в полые конструкции, оболочки специальной формы или новые противовесы со встроенными каналами теплопроводности, что дополнительно повышает функциональную плотность.
- **Совместная разработка легкой композитной конструкции и вольфрамового сплава**
заключается в внедрении вольфрамового сплава в композитные материалы из углеродного волокна, алюминиевые сотовые конструкции и другие структуры для формирования легкого и высокоплотного комбинированного модуля снижения вибрации, который учитывает как структурную прочность, так и эффект противовеса.
- **Исследования и разработка блоков электромагнитной связи**
направлены на использование в некоторых платформах навигации и космической связи. Композитные блоки реактивной массы на основе вольфрама с функцией поглощения электромагнитных волн разработаны для совмещения функций динамического управления и экранирования электромагнитных помех.

5.5 Инерционные грузики из вольфрамового сплава в системах оборонного оружия

5.5.1 Требования к инерциальному управлению для систем оборонного вооружения

Стремительное развитие информационно-интеллектуальной войны предъявляет к современным системам вооружения беспрецедентно высокие требования к точности наведения, скорости реагирования на удар и адаптивности к окружающей среде. Ракеты, «умные» бомбы, беспилотники и гиперзвуковые летательные аппараты всё чаще используют инерциальные навигационные системы (ИНС) для автономного позиционирования, планирования траектории и управления полётом.

Основными компонентами инерциальной навигационной системы являются акселерометры, гироскопы и инерциальные измерительные блоки (ИИБ). Стабильность её работы существенно зависит от точности определения положения и массы инерциальных опорных компонентов (таких как инерциальные колёса и противовесы). Для обеспечения стабильной

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

работы системы в высокоскоростных, высокодинамичных и сложных условиях боя структурная конструкция, распределение массы и выбор материала инерциального противовеса становятся ключевыми факторами, определяющими характеристики наведения и управления системой вооружения.

В связи с этим вольфрамовый сплав широко применяется в инерциальных системах противовесов вооружения и техники благодаря своей чрезвычайно высокой плотности, механической прочности и термической стабильности. Он является основным материалом, обеспечивающим длительную и эффективную работу инерциальных навигационных систем.

5.5.2 Преимущества вольфрамового сплава в инерционных грузах

Вольфрамовый сплав стал основным материалом для инерционных масс национальной оборонной техники благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам. Он обладает следующими выдающимися преимуществами:

- **Высокая плотность позволяет создавать высококачественные противовесы небольшого размера.**

Плотность вольфрамового сплава может достигать 17,0–18,5 г/см³, что значительно выше, чем у стали (около 7,8 г/см³) и алюминия (около 2,7 г/см³). Это позволяет создавать высококачественные инерционные грузы в очень малом объёме и особенно подходит для малогабаритных боеприпасов и микрорлётных платформ с крайне ограниченным пространством.

- **Отличная адаптируемость к окружающей среде.**

Вольфрамовый сплав обладает превосходной термостойкостью, стойкостью к окислению и коррозии. Он способен долго и стабильно служить в экстремальных условиях (от -50°C до +1000°C), высокой влажности, соляном тумане, радиации и других условиях, часто встречающихся на поле боя.

- **Высокая механическая прочность и ударопрочность.**

Вольфрамовый сплав обладает хорошей прочностью на разрыв и ударопрочностью, а также может выдерживать сильную вибрацию и ударные нагрузки, возникающие во время высокоскоростного полета, ударов при запуске и взрывных колебаний.

- **Адаптивность обработки и гибкость структурного проектирования**

позволяют достичь контроля формы на микронном уровне с помощью прецизионной порошковой металлургии, резки с ЧПУ, электроискровой обработки и т. д. для удовлетворения требований к сложной геометрической структуре инерциальных компонентов, и могут быть спроектированы в виде модульных и интегрированных компонентов инерциальной подсистемы.

5.5.3 Конкретные области применения

Вольфрамовый сплав широко используется в инерционных грузах оборонной сферы, охватывая многие ключевые боевые системы:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Узел утяжеления ядра инерциальной навигационной системы (ИНС)**

Вольфрамовый сплав используется в качестве эталонного тела массы инерциальной навигационной системы, увеличивая момент инерции гироскопа или инерционного колеса, что повышает чувствительность и стабильность отклика системы. В частности, в лазерных и волоконно-оптических гироскопах, вольфрамовые сплавы используются для регулировки стабильности оптического пути и точности определения угловой скорости.

- **Система управления весом полета высокоточных управляемых боеприпасов**

В баллистических ракетах, крылатых ракетах и других летательных аппаратах противовесы из вольфрамового сплава широко применяются в отсеках управления полётом для точной регулировки центра тяжести рулевой поверхности, оптимизации аэродинамического управления и повышения скорости реакции на изменение положения, что обеспечивает устойчивое управление системой управления полётом в замкнутом контуре. В таких типичных моделях, как крылатая ракета «Томагавк» и зенитные ракеты серии «Хунци», противовесы из вольфрамового сплава используются в качестве элементов управления полётом.

- **Модуль управления ориентацией и корректировки центра тяжести БПЛА**

Для тактических и микро-БПЛА стабильность положения в пространстве во время полета имеет первостепенное значение. Инерционные грузы из вольфрамового сплава устанавливаются в центре управления полетом или в нижней части винта для повышения чувствительности обратной связи по положению и обеспечения корректировки центра тяжести в реальном времени во время полета с помощью механических или электромагнитных структур, тем самым улучшая аэродинамическое сопротивление и продолжительность полета.

- **Инерционные грузы для артиллерийских снарядов и умных бомб**

Современные артиллерийские снаряды, планирующие авиабомбы и другие управляемые боеприпасы используют инерциальные элементы для коррекции траектории. Небольшие противовесы из вольфрамового сплава стали неотъемлемой частью инерциального модуля, обеспечивая вращательную устойчивость и динамическое равновесие.

5.5.4 Тенденции будущего развития

В связи с быстрым развитием интеллектуальных, интегрированных и миниатюрных систем оружия технология инерционных грузов из вольфрамовых сплавов также демонстрирует следующие тенденции:

- **Миниатюризация и развитие высокой степени интеграции.**

Будущие платформы вооружения, такие как роевые беспилотники и микромодули наведения ракет, потребуют миниатюризации инерциальных противовесов. Будучи материалом сверхвысокой плотности, вольфрамовый сплав по-прежнему обладает выдающимися противовесными характеристиками в миллиметровом диапазоне и станет важным компонентом микросамолетов и инерциальных модулей МЭМС.

- **Разработанная как интегрированная система, система с датчиком**

будет упакована вместе с основными компонентами, такими как датчик положения и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

гироскоп, для достижения высокой степени структурной интеграции и повышения помехозащищенности и надежности системы.

- **Интеллектуальная регулируемая инерционная система противовеса**

реализует динамическую регулировку массы инерционного противовеса путем интеграции пьезоэлектрических материалов или блочной структуры переменной массы, которая может адаптироваться к требованиям управления в реальном времени во время полета и улучшить скорость реагирования и гибкость системы управления полетом.

- **Новый композиционный материал на основе вольфрамового сплава разрабатывает**

и исследует композиционные материалы на основе вольфрама, такие как вольфрам-полимерные композиты и вольфрам-керамические материалы, чтобы гарантировать их более высокую обрабатываемость и электромагнитную совместимость при обеспечении высокой плотности, а также соответствовать требованиям будущих многофункциональных боевых платформ.

Противовесы из вольфрамовых сплавов находят широкое применение в аэрокосмической отрасли благодаря своей уникально высокой плотности, прочности и хорошей адаптации к окружающей среде. Вольфрамовые сплавы незаменимы в таких областях, как регулировка центра тяжести самолётов, инерциальное управление спутниками, противовесы хвостового оперения ракет и системы подавления вибраций, а также инерционные противовесы для систем национального оборонного вооружения. С развитием технологий конструкция и технологии производства противовесов из вольфрамовых сплавов будут продолжать совершенствоваться, что позволит аэрокосмическому оборудованию стать более эффективным и интеллектуальным.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

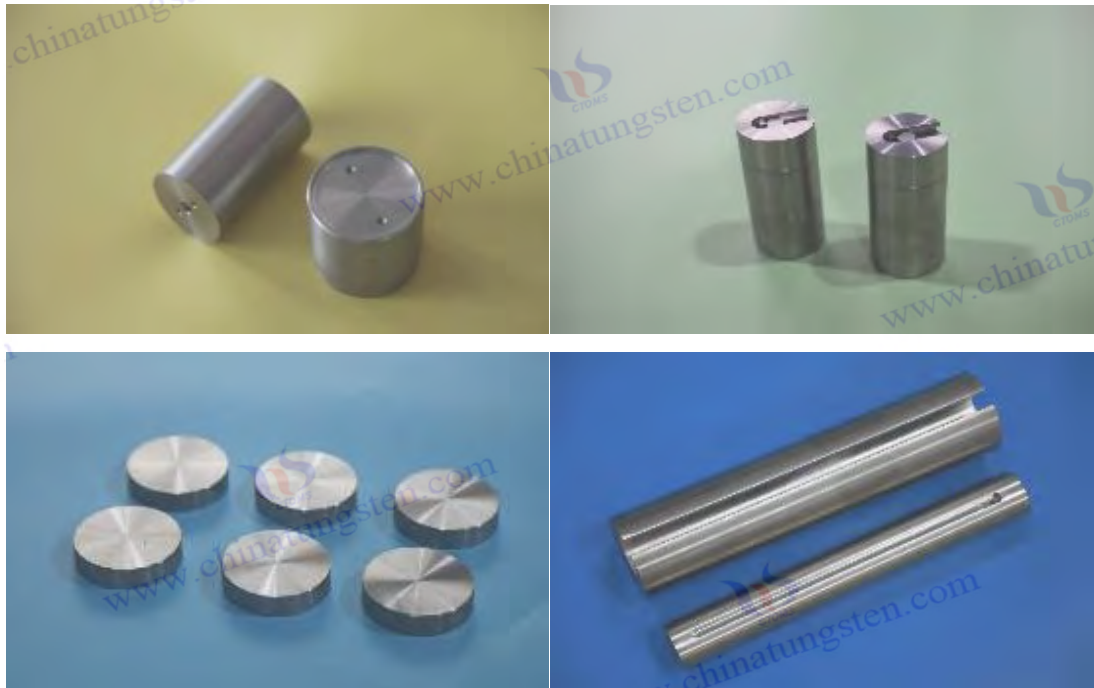
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

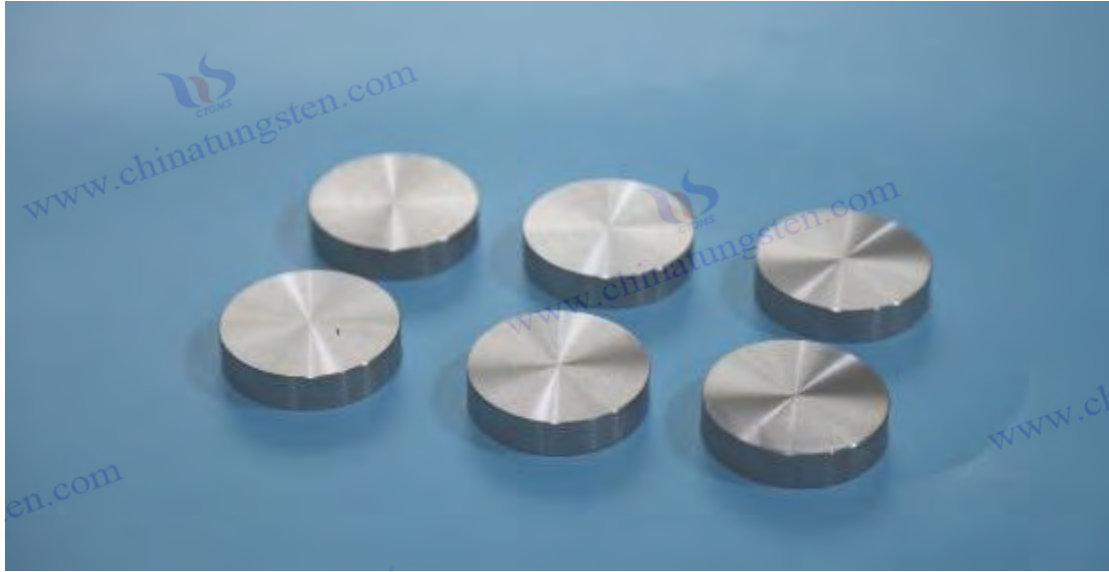
Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



Глава 6. Применение противовесов из вольфрамового сплава в автомобилях и машиностроении

Вольфрамовый сплав стал важным материалом в конструкции противовесов в автомобильной и инженерной технике благодаря своей высокой плотности, высокой прочности и превосходной износостойкости и коррозионной стойкости. Рациональная конструкция противовесов не только улучшает устойчивость, эффективность передачи мощности и безопасность транспортных средств или машин, но и значительно оптимизирует опыт управления и механические характеристики. С растущей значимостью тенденции к облегчению и высокой производительности автомобилей, а также с развитием инженерной техники в сторону крупногабаритных и интеллектуальных, ценность применения противовесов из вольфрамового сплава продолжает расти. В этой главе будет подробно описана практика применения и техническое развитие противовесов из вольфрамового сплава в динамическом балансе автомобильных двигателей и шасси, оптимизация противовесов гоночных автомобилей Формулы 1, модулей противовесов высокоскоростных железных дорог и высокоскоростных поездов, противовесов кранов и щитовых машин, а также устойчивых противовесов для крупногабаритного гражданского строительного оборудования.

6.1 Динамический баланс веса между двигателем автомобиля и шасси

Вольфрамовый сплав играет важнейшую роль в силовой системе и конструкции шасси современных автомобилей, особенно в улучшении динамического равновесия механических систем, подавлении вибраций, а также повышении устойчивости и комфорта всего автомобиля. В этом разделе подробно рассматривается применение противовесов из вольфрамового сплава в автомобильных двигателях и системах шасси, включая технические

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

основы, преимущества материалов, методы проектирования, типичные случаи и направления развития.

6.1.1 Техническое обоснование противовеса автомобильного двигателя

Двигатель, являясь стержнем двигателя автомобиля, состоит из множества высокоскоростных вращающихся и возвратно-поступательных деталей, таких как коленчатый вал, маховик, шатунно-поршневая система и т.д. Эти детали во время работы создают значительные центробежные силы и инерционные импульсы из-за неравномерной массы или отклонений в механической конструкции. Если не контролировать их, очень легко могут возникнуть следующие проблемы:

- Усиливается вибрация всего автомобиля и снижается комфорт вождения;
- Усталость деталей увеличивается, что приводит к их преждевременному износу или поломке;
- Снижается топливная экономичность и увеличивается расход энергии двигателя.

С этой целью в современных конструкциях двигателей обычно вводят **системы динамических противовесов**, которые уравнивают динамическую неравномерность роторной системы путем добавления небольших противовесов высокой плотности на ключевых движущихся частях для достижения стабильной работы на высоких скоростях.

Традиционные материалы для противовесов, такие как чугун или сталь, больше не могут удовлетворить потребности лёгких и высокопроизводительных автомобилей нового поколения с точки зрения плотности, объёма и термостойкости. Поэтому **вольфрамовый сплав, благодаря своим превосходным физико-механическим свойствам, постепенно вытеснил традиционные материалы и стал предпочтительным решением для противовесов**.

6.1.2 Преимущества противовесов из вольфрамового сплава в двигателях

Вольфрамовые сплавы в противовесах автомобильных двигателей находят свое отражение в следующих аспектах:

- **Высокая плотность позволяет создавать компактные и качественные противовесы.**

Плотность вольфрамового сплава достигает 17,0–18,5 г/см³, что почти вдвое превышает плотность стали. При той же массе он занимает меньше места, что позволяет точно размещать противовесы в ограниченных пространствах (например, на коленчатых валах или торцах роторов), повышая точность динамической балансировки и эффективно поддерживая компактную конструкцию двигателей.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Отличные характеристики при высоких температурах.**

Бензиновые и дизельные двигатели круглый год работают в условиях высоких температур. Температура плавления вольфрамового сплава достигает 3410°C. Даже при длительной работе двигателя при рабочей температуре 250–500°C он сохраняет стабильную форму и механические свойства.

- **Коррозионная стойкость и износостойкость.**

Вольфрамовый сплав обладает высокой устойчивостью к химической коррозии и может длительное время использоваться в среде, содержащей нефть, продукты сгорания и даже остатки кислот и щелочей. Высокая твёрдость также снижает вероятность износа при длительном трении, что снижает частоту технического обслуживания.

- **Высокоплотный вольфрамовый сплав с сильной способностью подавления вибрации**

имеет превосходные характеристики инерционного реагирования, что позволяет эффективно поглощать высокочастотные микровибрации, снижать шум и несбалансированное воздействие всей машины, а также является ключевым материалом для проектирования двигателей NVH (шум, вибрация и акустический комфорт).

6.1.3 Ключевые моменты проектирования динамического противовеса

Динамическое распределение веса в автомобильных двигателях и системах шасси требует оптимизации множества ключевых компонентов. К распространённым конструкторским решениям относятся:

- **Конструкция противовеса коленчатого вала**

Несбалансированное вращение коленчатого вала вызывает сильную вибрацию. Противовесы из вольфрамового сплава обычно точно встраиваются в оба конца или шейку коленчатого вала методомковки или спекания и компенсируют смещение массы за счёт трёхмерной регулировки центра тяжести. По сравнению со стальными, вольфрамовые противовесы компактны и гибки в установке, обеспечивая компенсацию момента инерции менее грамма.

- **Маховик**

также должен точно контролировать инерцию вращения двигателя. Интегрированная конструкция противовеса из вольфрамового сплава и маховика позволяет добиться точной регулировки инерции и времени отклика за счёт изменения глубины установки и кольцевого распределения.

- **Динамические балансировочные грузики системы подвески двигателя Для транспортных средств, оснащенных небольшими трехцилиндровыми двигателями или системами электропривода,**

в конструкции подвески двигателя также используются микробалансировочные грузики из вольфрамового сплава для регулировки общей резонансной частоты

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

системы и предотвращения распространения вибрации холостого хода на кузов транспортного средства.

- **Противовес шасси и блок стабилизатора подвески**

В конструкции шасси транспортного средства, например, в подрамнике, верхней части опоры амортизатора или рулевом механизме, путем установки блока стабилизатора из вольфрамового сплава можно добиться регулировки центра тяжести транспортного средства и оптимизации боковой устойчивости, что особенно подходит для транспортных средств с высокими требованиями к скоростному вождению и устойчивости на поворотах.

6.1.4 Типичные случаи применения

- **Система динамической балансировки веса для двигателей автомобилей класса люкс.**

Турбированный двигатель V8 этого бренда автомобилей премиум-класса использует специальный балансировочный блок коленчатого вала из вольфрамового сплава в сочетании с технологией лазерной сварки для достижения максимального динамического баланса, что позволяет двигателю стабильно работать при частоте вращения свыше 7500 об/мин, при этом значительно улучшая плавность хода и бесшумность.

- **Система электропривода для новых энергетических транспортных средств. Система электропривода новых энергетических транспортных средств (например, синхронные двигатели с постоянными магнитами) предъявляет повышенные требования к динамической балансировке ротора. Компания установила**

вставки из вольфрамового сплава внутри приводного двигателя в сочетании с обратной связью динамического мониторинга, чтобы добиться регулировки инерции на уровне маховика, улучшить отклик на ускорение на 30% и снизить тепловыделение ротора.

- **Модуль регулировки инерции гоночного двигателя использует полое балансировочное кольцо из вольфрамового сплава, используемое в гоночных автомобилях Формулы-1. Изменяя его относительное положение, инерция двигателя регулируется в соответствии с индивидуальными требованиями к скорости и отклику на трассе.**

6.1.5 Тенденции будущего развития

По мере ускорения электрификации, интеллектуализации и модульности автомобилей роль противовесов из вольфрамового сплава в двигателях и шасси будет продолжать развиваться:

- **Интеллектуальная система динамической балансировки веса :** Объединяя датчики MEMS и электромагнитные приводы, создана система динамической балансировки веса из вольфрамового сплава с обратной связью в реальном времени,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

которая может автоматически регулировать центр тяжести и инерции в соответствии с изменениями частоты вращения двигателя и нагрузки для достижения активного снижения вибрации и оптимизации топливной экономичности.

- **Легкая и функциональная интегрированная конструкция** : противовес из вольфрамового сплава интегрирован с электромагнитным экранированием, тепловым буфером и другими функциями для уменьшения количества деталей и повышения надежности системы.
- **Экологичное производство и использование переработанных материалов** : разработать энергосберегающую технологию спекания вольфрамового сплава и изучить возможность переработки отработанных грузов двигателей для достижения целей круговой экономики и углеродной нейтральности.

6.2 Оптимизация распределения веса гоночного автомобиля Формулы-1

Поскольку Формула-1 является одной из самых технически сложных гоночных дисциплин в мире, оптимизация производительности гонок Формулы-1 зависит не только от силовой установки и аэродинамического дизайна, но и в значительной степени от научного проектирования и компоновки **системы распределения веса автомобиля**. Вольфрамовый сплав, обладающий чрезвычайно высоким удельным весом и стабильными физическими свойствами, стал идеальным материалом для команд Формулы-1, позволяя им корректировать динамический баланс, оптимизировать расположение центра тяжести и адаптироваться к трассе.

6.2.1 Важность веса в гонках Формулы-1

В гонках Формулы-1 каждый грамм распределения веса может определить победу или поражение. Согласно регламенту FIA, минимальная общая масса болида Формулы-1 2024 года составляет 798 кг (включая гонщика). Это означает, что команда конструкторов должна будет максимально точно скорректировать **центр тяжести, высоту, балансировку по оси «влево-вправо» и динамическую инерцию кузова в условиях строгих весовых ограничений**.

Противовес не только используется для заполнения излишков в конструкции транспортного средства, но и должен точно координироваться с условиями работы **аэродинамических компонентов, системы подвески и тормозной системы** для достижения следующих целей:

- **Оптимизация характеристик прохождения поворотов** : точное распределение веса спереди и сзади может улучшить реакцию рулевого управления и уменьшить недостаточную или избыточную поворачиваемость;
- **Повышение эффективности торможения** : распределение веса влияет на давление шин на грунт, тем самым влияя на эффективность торможения;
- **Улучшенное ускорение и сцепление на поворотах** : смещение центра тяжести назад помогает улучшить сцепление ведущих колес;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Улучшенная управляемость автомобиля** : регулировка веса может повысить уверенность водителя и чувство контроля над транспортным средством, особенно на скользкой, неровной или изменяющейся по температуре дороге.

6.2.2 Преимущества противовесов из вольфрамового сплава в гонках Формулы-1

Кузов гоночных автомобилей Формулы-1 чрезвычайно компактен. Традиционные материалы, такие как сталь и алюминий, не могут обеспечить необходимую массу в ограниченном пространстве. Вольфрамовый сплав стал единственным выбором для высококачественных материалов для противовесов благодаря своим превосходным эксплуатационным характеристикам.

- **Высокая концентрация массы:**
плотность вольфрамового сплава достигает $18,5 \text{ г/см}^3$, что более чем в 2,3 раза превышает плотность стали. Объём противовеса такой же массы значительно меньше, что позволяет конструкторам размещать его в очень узких местах, например, по центру пола, за колёсной аркой или в мёртвом углу кузова автомобиля, обеспечивая точное распределение массы.
- **Отличная термическая стабильность и структурная стабильность.**
Температура тормозного диска в гонках Формулы-1 может достигать 1000°C , а разница температур внутри кузова автомобиля может превышать 50°C . Вольфрамовый сплав обладает хорошей тепловой инерцией и размерной стабильностью. Он способен выдерживать высокие температурные нагрузки в течение длительного времени без расширения, деформации или усталости, обеспечивая долговременную стабильность веса.
- **Высокая обрабатываемость и гибкость в изготовлении**
изделий из вольфрамового сплава позволяет создавать сложные геометрические формы с помощью прецизионной обработки на станках с ЧПУ, электроэрозионной обработки, литья под давлением методом многослойной металлической изоляции (MIM) и т.д., что позволяет адаптировать его к конструкции различных деталей кузова автомобиля. Он обладает высокой прочностью и хорошей износостойкостью, а также может комбинироваться с распространёнными материалами Формулы-1, такими как углеродное волокно и титановый сплав, для повышения интеграции и надёжности.

6.2.3 Стратегия оптимизации распределения веса

Противовесы из вольфрамового сплава — это не просто «заполнение пробелов» в конструкции гоночных автомобилей. Их компоновка сама по себе представляет собой сложнейшую системную инженерную задачу, часто требующую оптимизации с использованием двух видов моделирования и реальных измерений.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Распределение веса**

составляет около 40:60, но это соотношение можно гибко регулировать в зависимости от характеристик трассы (например, наличия множества серпантинов или длинных прямых). Небольшие размеры и высокое качество вольфрамовых сплавов позволяют конструкторам точно настраивать распределение веса в конструкции переднего носового элемента или заднего антикрыла, чтобы улучшить курсовую устойчивость автомобиля при торможении и его способность к ускорению на выходе из поворотов.

- **Регулировка поперечной нагрузки.**

Левый и правый грузы играют решающую роль в распределении поперечной нагрузки автомобиля при повороте. Разумная разница в поперечной нагрузке, особенно на городских трассах, таких как Монако и узкая трасса Сильверстоун, может значительно улучшить управляемость в поворотах и уменьшить снос рулевого управления.

- **Чем ниже центр тяжести, тем устойчивее автомобиль.**

Блоки из вольфрамового сплава часто устанавливаются в самых нижних точках кузова автомобиля (например, в передней и задней частях шасси, под аккумулятором), чтобы увеличить прижимную силу всего автомобиля при движении на высокой скорости и обеспечить полный контакт с землей при ускорении на спуске или перестроении на высокой скорости.

6.2.4 Фактическое проектирование и изготовление

- Все противовесы из вольфрамового сплава обрабатываются на пятикоординатных станках с ЧПУ

с точностью управления более ± 5 мкм, что гарантирует погрешность веса каждой детали менее 0,05%. После изготовления размеры и качество проверяются трёхкоординатной измерительной системой КИМ.

- Соединение противовеса с каркасом корпуса **интегрированной стационарной конструкции должно быть лёгким и прочным. Обычно оно фиксируется с помощью резьбовых отверстий из титанового сплава и кронштейнов из углеродного волокна. Некоторые команды даже используют системы зажимов, изготовленные на 3D-принтере, для эффективной сборки и быстрой замены без сварки.**

- **Система динамической регулировки на основе данных.**

Каждый автомобиль Формулы-1 оснащён множеством датчиков для сбора данных, включая продольное ускорение, поперечную нагрузку, температуру шин и контакт с землёй. Инженеры используют методы имитационного моделирования (например, конечноэлементный анализ (FEA) и многокомпонентную динамику (MBD)), чтобы

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

адаптировать решения по подбору вольфрамовых грузов для различных трасс перед гонкой, а также могут быстро адаптироваться между квалификацией и гонкой.

6.2.5 Анализ случая

- **Улучшение характеристик в поворотах. Лучшая команда Формулы-1 представила новый** централизованный противовес из вольфрамового сплава (расположенный на полу кузова сзади) на трассе в Монце в Италии. По сравнению с традиционным модулем, объём уменьшен в среднем на 18%, а центр тяжести смещен назад на 2,5 мм без увеличения общей массы. В конечном итоге это способствует увеличению скорости автомобиля в поворотах на 1,3 км/ч и сокращению времени прохождения поворота на 0,21 секунды.
- **Гран-при Монако 2023 года другая команда специально разработала «блок стабилизатора поперечной устойчивости» из вольфрамового сплава для конструкции дренажа дождевой воды на левой стороне автомобиля, чтобы автомобиль мог сохранять курсовую устойчивость в** поворотах с низким сцеплением, значительно сократить количество заносов задней части и, в конечном итоге, завоевать место в очковой зоне.

6.3 Модуль противовеса высокоскоростных железных дорог и высокоскоростных поездов

В связи с растущими требованиями к скорости, комфорту и безопасности современных железнодорожных перевозок, конструкция высокоскоростных поездов становится всё более сложной и технологичной. В условиях высокой степени интеграции конструкции кузова, ограниченного веса и изменяющихся условий эксплуатации рациональное расположение **высокопроизводительных модулей противовеса** стало неотъемлемой частью проектирования поездов.

Вольфрамовый сплав постепенно вытесняет такие традиционные материалы, как сталь и свинец, благодаря своей высокой плотности, прочности и превосходной долговечности. Он используется на высокоскоростных железных дорогах и высокоскоростных поездах для **управления центром тяжести, снижения вибрации при динамических нагрузках и снижения уровня шума**, и его инженерная ценность становится всё более заметной.

6.3.1 История вопроса технологии противовесов для высокоскоростных железных дорог

При движении со скоростью 300–400 км/ч высокоскоростные поезда сталкиваются со сложными физическими условиями, такими как **сильные вибрационные нагрузки, центробежная сила, возмущение сопротивления воздуха, удары при торможении** и т. д. Динамическая реакция кузова вагона становится еще более интенсивной при поворотах,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ускорении или замедлении, а также при прохождении неоднородных участков, таких как мосты и туннели.

Механизмы регулировки центра тяжести и контроля вибрации на ранней стадии проектирования. Модуль противовеса, как компонент динамической балансировки и подавления вибрации на системном уровне, выполняет следующие основные задачи:

- **Скорректировать центр тяжести транспортного средства и каретки**, а также оптимизировать распределение нагрузки на ось колес;
- **Отрегулируйте степень согласования частоты вибрации компонентов**, чтобы предотвратить резонанс и усталость конструкции;
- **Улучшить комфорт езды и уровень шума**, а также повысить качество коммерческих операций;
- **Поддерживает систему подвески для достижения точного динамического отклика** и снижения сложности системы.

6.3.2 Преимущества модуля противовеса из вольфрамового сплава

В железнодорожном транспорте модуль противовеса должен быть не только «тяжёлым», но и «устойчивым». Вольфрамовые сплавы обладают рядом характеристик, которые дают им незаменимые технические преимущества в высокоскоростном железнодорожном транспорте:

- **Высококачественный и высокоплотный**
противовес из вольфрамового сплава может достигать плотности 18,0–18,5 г/см³, что более чем вдвое превышает плотность обычной углеродистой стали. В днище кузова транспортного средства или в полости подвески, где пространство крайне ограничено, требуемый противовес можно разместить в меньшем объёме, избегая ущерба другим компонентам системы.
- **Превосходная механическая прочность и способность адаптироваться к динамическим нагрузкам.**
Корпус высокоскоростного рельса подвергается миллионам циклов вибрации во время эксплуатации. Вольфрамовый сплав обладает высокой прочностью на разрыв, высоким модулем Юнга и чрезвычайно низкой скоростью роста усталостных трещин, что гарантирует целостность конструкции модуля противовеса при длительных высокочастотных нагрузках.
- **Превосходная устойчивость к воздействию окружающей среды:**
высокоскоростные железнодорожные линии Китая пролегают через различные климатические зоны, такие как плато, пустыни и прибрежные районы. Вольфрамовый сплав обладает превосходной устойчивостью к влаге, жаре, соляным брызгам, кислотной и щелочной коррозии и может служить в экстремальных климатических условиях в течение длительного времени без ржавчины и деформации.
- **Хорошая структурная обрабатываемость**
позволяет реализовывать сложные и специальные конструкции конструкций с

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

помощью порошковой металлургии, горячего изостатического прессования, обработки с ЧПУ и сварочной формовки, отвечая требованиям модульного монтажа, быстрой замены и точной интеграции высокоскоростных поездов.

6.3.3 Конструкция модуля противовеса

В системе высокоскоростного железнодорожного транспорта размещение противовесов из вольфрамового сплава должно быть согласовано с конструкцией транспортного средства, электронной системой управления, системой подвески и стратегией снижения шума и вибрации. Основные направления проектирования включают:

- **Противовес шасси кузова**
обычно устанавливается на кронштейне конструкции или низко расположенной кабине вблизи центральной оси кузова. Благодаря точной регулировке продольного и поперечного положения центра тяжести, он предотвращает опрокидывание, раскачивание и тряску поезда при движении на высокой скорости.
- **Модуль противовеса системы подвески**
может использоваться в первичной или вторичной системе подвески для снижения скорости передачи вибрации, повышения устойчивости транспортного средства и эффекта виброизоляции за счет регулировки резонансной частоты системы и улучшения реакции амортизатора.
- **Противовесы колес и тележек оснащены**
блоками из вольфрамового сплава в определенных местах системы колесной оси или тележки для **инерционного баланса** и подавления шума, особенно на кривых участках или стрелочных переводах, для подавления боковой вибрации и извилистого движения, а также для продления срока службы колесно-рельсовой системы.
- **Вспомогательная конструкция противовеса транспортного средства**
обеспечивает локальное уравнивание крупногабаритного оборудования, такого как кондиционеры и тяговые двигатели, для предотвращения асимметричных колебаний. Она также обеспечивает балансировку модулей, таких как бортовые аккумуляторные батареи и электронные блоки управления, для повышения электромагнитной совместимости и удобства обслуживания.

6.3.4 Практика применения

В последние годы производители высокоскоростных поездов во многих странах начали внедрять системы противовесов из вольфрамового сплава в процесс ввода в эксплуатацию и оптимизации подвижного состава и добились замечательных результатов:

- **Пример 1: Испытание высокоскоростного поезда CR400AF.**
В электропоездах определённого типа используется централизованный модуль нагрузки с шасси из вольфрамового сплава. По сравнению с традиционным чугунным решением, объём конструкции сокращается почти на 50%, индекс

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

устойчивости движения поезда улучшается на 11%, а процент прохождения испытаний на устойчивость к боковому ветру увеличивается на 15%.

- **Пример 2: В рамках проекта по повышению комфорта высокоскоростных поездов в Европе были внедрены модульные вольфрамовые противовесы во вторичной системе подвески, что эффективно решило проблему тряски салона. Среднеквадратичное значение ускорения сиденья снизилось примерно на 0,08 м/с², а оценка удовлетворенности пассажиров выросла более чем на 20%.**

6.3.5 Тенденция развития

С достижением целей «интеллектуальной высокоскоростной железной дороги», «зеленого высокоскоростного поезда» и «углеродного пика и углеродной нейтральности» проектирование модулей противовеса из вольфрамового сплава постепенно переходит в сторону цифровизации, интеллектуальности и устойчивого развития:

- В будущем блоки противовеса **интеллектуальной регулируемой системы противовеса будут объединены с датчиками МЭМС и электрическими модулями смещения для обеспечения регулировки массы в реальном времени и перемещения центра тяжести по мере изменения нагрузки транспортного средства и скорости движения, тем самым повышая адаптивность системы и уровень энергосбережения.**
- **Переработка материалов и экологически чистое производство** способствуют развитию металлургической технологии переработки и системы переработки порошков вольфрамовых сплавов, снижают зависимость от добычи вольфрамовых ресурсов и реализуют замкнутый цикл использования высококачественных материалов противовеса.
- **Интегрированная многофункциональная модульная конструкция** сочетает в себе функциональные требования теплоизоляции, звукопоглощения, огнестойкости, снижения вибрации и т. д., а также объединяет конструкцию противовеса из вольфрамового сплава с другими компонентами (такими как кабельные желоба и элементы усиления конструкции) для повышения коэффициента использования пространства и упрощения конструкции поезда.

6.4 Краны, подъемное оборудование и противовесы щитовых машин

В современном крупномасштабном строительстве и строительстве инфраструктуры тяжёлая строительная техника, такая как краны, подъёмное оборудование и щитовые машины, выполняет ключевые задачи. Это оборудование, как правило, сталкивается с такими проблемами, как смещение центра тяжести, сотрясение конструкции и дисбаланс нагрузки во время работы. Неправильная конфигурация системы противовесов приводит не только к нестабильной работе механизмов и снижению эффективности строительства, но и может привести к несчастным случаям. Блоки противовесов из вольфрамового сплава стали

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

идеальным выбором для высокопроизводительных противовесов в вышеуказанном оборудовании благодаря своей высокой плотности, прочности и превосходной структурной устойчивости.

6.4.1 Значение противовесов для строительной техники

Когда строительная техника выполняет такие действия, как подъём, выемка грунта, вращение или перемещение, её центр тяжести смещается в зависимости от изменения конструкции и нагрузки. Например:

- После того как кран поднимает тяжелый предмет, общий центр тяжести смещается вперед, что с большой вероятностью может вызвать риск опрокидывания;
- Во время продвижения щитовой машины необходимо постоянно корректировать центр тяжести, чтобы поддерживать равновесие передних и задних сил и обеспечивать направление выемки грунта;
- Крупногабаритное подъемное оборудование должно обеспечивать устойчивость поворотной платформы в условиях асимметричной нагрузки, чтобы избежать осадки фундамента или вибрации конструкции.

Поэтому научное и рациональное проектирование системы противовесов, гарантирующее достаточную устойчивость машины в различных условиях эксплуатации, является важнейшей инженерной задачей, гарантирующей безопасность конструкции, срок службы машины и эффективность ее работы.

6.4.2 Преимущества применения противовесов из вольфрамового сплава

По сравнению с традиционными стальными или чугунными противовесами вольфрамовый сплав имеет следующие существенные преимущества, делающие его более подходящим для высокопроизводительных противовесов в современной машиностроительной технике:

- **Высокая плотность позволяет уменьшить объём противовесов.**
Плотность вольфрамового сплава достигает 18 г/см^3 , что значительно выше плотности обычной стали (около $7,8 \text{ г/см}^3$). Это позволяет достичь большей массы противовеса в ограниченном пространстве, значительно уменьшить объём модуля и удовлетворить требованиям компактной конструкции.
- **Отличная износостойкость и коррозионная стойкость.**
Инженерное оборудование часто подвергается воздействию экстремальных условий, таких как высокая температура, высокая влажность, высокое содержание соли, кислоты, щелочи, песка и пыли. Сам вольфрамовый сплав обладает хорошей химической стабильностью и физической износостойкостью, что обеспечивает его длительную эксплуатацию и снижает частоту замены.
- **Высокая ударпрочность.**
Вольфрамовый сплав обладает высоким модулем Юнга и пределом текучести. При

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

резких нагрузках от тяжёлых предметов, резонансе фундамента и серьёзных столкновениях со строительной техникой он сохраняет небольшую деформацию и высокую устойчивость, эффективно амортизируя ударную нагрузку.

- **Нетоксичные и экологически безопасные альтернативные материалы.**

Использование свинца в традиционных противовесах сопряжено с риском токсичности и загрязнения окружающей среды. Вольфрамовый сплав — нетоксичный, пригодный для вторичной переработки экологичный металл, отвечающий требованиям современных инженерных проектов в области охраны окружающей среды.

6.4.3 Принципы проектирования противовеса

Конструкция противовеса строительной техники должна быть адаптирована и оптимизирована в соответствии с конструкцией ее оборудования, режимом эксплуатации и рабочим сценарием, в основном следуя следующим принципам:

- **Предпочтение отдаётся механическому балансу.**

Противовесы из вольфрамового сплава следует устанавливать на ключевых конструкциях, где центр тяжести значительно меняется, например, на противоположной стороне стрелы, на задней части поворотной платформы или в хвостовой части щитовой машины. Динамическое равновесие конструкции можно обеспечить путём расчёта момента силы тяжести, чтобы избежать риска опрокидывания или переворачивания.

- **В целях безопасности**

метод соединения противовеса должен включать **высокопрочную механическую систему крепления**, например, комбинацию болтов + установочных штифтов + ограничительных пазов, а также должна быть спроектирована конструкция, препятствующая ослаблению крепления, чтобы не допустить ослабления или падения противовеса во время вибрации оборудования.

- **Простота обслуживания.**

Модульная конструкция позволяет быстро заменять и регулировать противовес, обеспечивая гибкость при установке в изменяющихся условиях на строительной площадке. В некоторых моделях оборудования также используются направляющие или салазки для повышения эффективности установки противовеса.

- **Будущая тенденция структурной интеграции требует, чтобы**

противовесы из вольфрамового сплава не только выполняли функцию несущих грузов, но и могли быть интегрированы с конструкциями оборудования, такими как опорные балки и арматурные пластины, для повышения общей жесткости конструкции и упрощения процесса монтажа.

6.4.4 Конкретные примеры применения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ниже приведены типичные примеры применения противовесов из вольфрамового сплава в строительной технике:

- **Противовес башенного крана оснащён**
модулем из вольфрамового сплава, расположенным в основании башенного крана или на задней части поворотной платформы, что эффективно повышает способность выдерживать реактивную силу фронтального груза во время подъёма. Особенно при строительстве высотных зданий в городах пространство для подъёма ограничено, а высокая плотность вольфрамового сплава решает проблему «слишком большого объёма» традиционных противовесов.
- **В крупногабаритном подъемном оборудовании, таком как колесные и гусеничные краны, противовесы из вольфрамового сплава могут размещаться под поворотным шасси**
или стрелой, чтобы компенсировать смещение центра тяжести, вызванное выдвижением стрелы во время подъема, и повысить запас прочности подъемной операции.
- **Блоки из вольфрамового сплава системы противовеса щитовой машины установлены по обеим сторонам хвостовой части щитовой машины и позади основной приводной системы для компенсации переднего центра тяжести режущей головки**
во время продвижения, поддержания устойчивости положения машины во время выемки грунта, а также уменьшения рыскания и помех путям.
- **Система противовеса гусеничного крана с изменяемым вылетом стрелы**
Некоторые высококласные гусеничные краны оснащены подвижным противовесом из вольфрамового сплава, который может регулировать положение противовеса с помощью рычажного механизма, чтобы адаптироваться к требованиям изменения центра тяжести в режиме реального времени при изменении положения стрелы.

6.4.5 Тенденции развития отрасли

По мере развития подъемного и щитового оборудования в сторону **большей грузоподъемности, более длительного рабочего цикла и более сложных условий эксплуатации** система противовеса из вольфрамового сплава будет демонстрировать следующие тенденции технического развития:

- **Структурная интеграция и эффективная сборка.**
Противовесы из вольфрамового сплава будут более тесно интегрированы в основную конструкцию оборудования, обеспечивая комплексное решение «конструкция + функция». Например, блок противовеса интегрирован с рёбрами жёсткости в хвостовой части стрелы, что позволяет сократить количество сварных соединений и повысить прочность конструкции.
- **Интеллектуальная**
система мониторинга и динамической регулировки противовеса будет включать в себя **интеллектуальные весовые модули, инерциальные датчики, энкодеры**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

положения и другие электронные компоненты для обеспечения контроля центра тяжести в режиме реального времени и обратной связи по состоянию противовеса, предоставления поддержки данных для системы управления оборудованием и содействия автоматической регулировке положения противовеса.

- **Экологичное производство и переработка.**

В рамках реализации целей «двойного углеродного» подхода производители строительной техники будут уделять больше внимания возможности вторичной переработки и энергозатратности плавки материалов противовесов. Вольфрамовый сплав может быть повторно использован благодаря технологии переработки и повторного спекания, что соответствует будущей модели циклической экономики.

- **Многофункциональная композитная конструкция противовеса**

объединяет блок противовеса с такими компонентами, как бак гидравлического масла, аккумуляторный отсек и блок охлаждения, что позволяет повысить компактность конструкции транспортного средства и степень функциональной интеграции.

6.5 Стабильная схема противовеса для гражданского строительства и крупногабаритной строительной техники

В крупномасштабных проектах гражданского строительства, таких как строительство современной инфраструктуры, расширение городов и разработка месторождений полезных ископаемых, широко используется тяжёлая строительная техника, такая как экскаваторы, бульдозеры, погрузчики и сваебойные машины. При работе с высокими нагрузками устойчивость, контроль центра тяжести и устойчивость к опрокидыванию напрямую влияют на эффективность строительства и безопасность работ. В сложных условиях эксплуатации, таких как мягкий грунт, склоны, неровный рельеф или экстремальные погодные условия, оборудование должно обладать превосходной устойчивостью.

Вольфрамовый сплав стал основным материалом современных высокопроизводительных систем противовесов благодаря своей высокой плотности, высокой прочности и превосходной адаптивности к окружающей среде, обеспечивая надежное и эффективное решение в качестве противовеса для машин гражданского строительства.

6.5.1 Техническое описание противовесов для крупногабаритной строительной техники

Когда строительное оборудование выполняет такие задачи, как захват, копание, выкапывание и толкание, оно вызывает значительное смещение центра тяжести. Например:

- **При полном выдвижении экскаватора** центр тяжести всей машины смещается вперёд. При недостаточном противовесе задняя часть легко наклонится, а вся машина опрокинется.
- **Когда погрузчик поднимает ковш с полной нагрузкой, корпус погрузчика смещается в продольном направлении, что увеличивает риск опрокидывания;**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **бульдозер** выполняет высокоскоростные операции по толканию, ему необходимо поддерживать низкий центр тяжести, чтобы предотвратить боковое скольжение и тряску.

Для удовлетворения вышеуказанных требований оборудование должно быть оснащено системой противовесов достаточно высокого качества, разумной конструкции и надежной фиксации. Традиционные стальные или чугунные противовесы имеют такие недостатки, как большой объем, сложная компоновка и недостаточная плотность, что затрудняет удовлетворение требований современной крупногабаритной строительной техники к компактности и эффективности работы. Вольфрамовый сплав постепенно стал основным высокопроизводительным материалом для противовесов благодаря своей высокой плотности (18 г/см³) и большей массе при том же объеме.

6.5.2 Преимущества противовесов из вольфрамового сплава

Вольфрамовый сплав в системе противовеса строительного оборудования находит свое отражение в следующих аспектах:

- **Высокая плотность экономит монтажное пространство.**
Удельный вес вольфрамового сплава примерно в 2,3 раза превышает удельный вес традиционной стали, что позволяет получить необходимую массу противовеса в очень небольшом объеме, что идеально подходит для установки в хвостовой части, днище или опорной зоне оборудования с компактным монтажным пространством.
- **Высокая прочность и адаптируемость к суровым условиям эксплуатации**
. Строительные площадки часто подвержены воздействию пыли, влаги, кислот и щелочей, высокой влажности, высоких температур и других сложных условий. Вольфрамовый сплав обладает превосходной коррозионной стойкостью и износостойкостью, что значительно продлевает срок службы противовеса и снижает частоту его замены и технического обслуживания.
- **Отличная ударопрочность.**
Строительное оборудование подвергается частым ударам и вибрации при высоких динамических нагрузках. Вольфрамовый сплав обладает высоким модулем Юнга и пределом текучести, что позволяет эффективно противостоять усталостным повреждениям, обеспечивая устойчивость конструкции противовеса и эксплуатационную надежность.
- **Нетоксичен и экологичен, заменяет материалы на основе свинца**
. В отличие от некоторых традиционных материалов для противовесов, содержащих свинец, вольфрамовый сплав нетоксичен и не содержит летучих тяжелых металлов. Он полностью соответствует требованиям международных экологических норм, таких как REACH и RoHS, и широко используется в гражданском и машиностроительном машиностроении.

6.5.3 Конструкция противовеса

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Противовесы из вольфрамового сплава в крупногабаритном строительном оборудовании требуют научно обоснованного модульного плана компоновки, учитывающего структуру оборудования, рабочую позу и условия строительства:

- **Конструкция с низким центром тяжести**

должна устанавливаться на шасси оборудования или в задней части кузова транспортного средства как можно ближе к земле, чтобы поддерживать центр тяжести всей машины в низком положении и повышать устойчивость к опрокидыванию. Она особенно подходит для работ с большой боковой тягой, например, для бульдозеров и сваебойных машин.

- **противовеса**

состоит из нескольких сменных и штабелируемых модульных блоков. Различные модули соединяются болтами, защёлками или направляющими для регулировки массы и центра тяжести противовеса по мере необходимости. Он легко заменяется на месте и адаптируется к различным строительным задачам.

- **Меры безопасности при креплении:**

Блок противовеса должен быть закреплён высокопрочной механической конструкцией и оснащён защитными устройствами, такими как гайки, препятствующие ослаблению, противоскользящие прокладки и ограничительные конструкции, чтобы предотвратить ослабление и падение противовеса во время строительства и повысить безопасность эксплуатации.

- **Интеграция с конструкцией конструкции**

На этапе проектирования оборудования противовес из вольфрамового сплава может быть встроен в основную конструкцию оборудования (такую как хвостовая рама, боковые панели, щитки и т. д.) для достижения интеграции конструкции и противовеса, экономии монтажного пространства и повышения жесткости всей машины.

6.5.4 Типичные примеры применения

Ниже приведены типичные сценарии применения противовесов из вольфрамового сплава в специальном оборудовании:

- **Система противовеса для крупногабаритного экскаватора.**

Модуль противовеса из вольфрамового сплава устанавливается в хвостовой части экскаватора для достижения баланса масс в ограниченном пространстве и повышения стабильности реакции всей машины на движение тяжёлой стрелы. При работе на некоторых плоскогорьях или в геологически слабых районах противовес обрабатывается специальным противоударным составом для предотвращения растрескивания.

- **При погрузке**

блок из вольфрамового сплава устанавливается между задней частью машины и шасси. Регулируя его массу и компоновку, можно оптимизировать радиус поворота

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

всей машины и балансировку подъема и опускания ковша, что повышает эксплуатационную гибкость и эффективность.

- В конструкции нижней рамы и хвостовой балансирной балки **системы оптимизации противовеса бульдозера используется вольфрамовый сплав**, благодаря чему оборудование может сохранять высокую устойчивость к опрокидыванию при движении с высокой скоростью и крутых поворотах, а также адаптироваться к сложной конструкции грунта.
- В качестве противовеса оборудования для забивки свайных фундаментов используется вольфрамовый сплав высокой плотности, который добавляет симметричные противовесы к основной башне или под оборудованием, эффективно компенсируя смещение центра тяжести корпуса машины, вызванное ударом головки молота, и улучшая возможность вертикального управления положением сваи.

6.5.5 Будущие тенденции развития технологий

В будущем, с развитием технологий интеллектуального строительства, высокотехнологичных машин и оборудования, а также цифрового строительства, система противовесов из вольфрамового сплава будет развиваться в следующих направлениях:

- **Интеллектуальная система регулировки противовеса**
объединяет инерциальный измерительный блок (IMU), лазерный дальномер, датчик давления и т. д. для определения изменений центра тяжести оборудования в режиме реального времени и приводит в движение модуль из вольфрамового сплава с помощью двигателя для осуществления адаптивной регулировки противовеса.
- **Композитная конструкция противовеса и энергетической системы**
В электрических экскаваторах, гибридных бульдозерах и другом оборудовании противовес из вольфрамового сплава может также выполнять функцию **защитного отсека аккумуляторной батареи и защитной брони охладителя**, реализуя многофакторную интеграцию веса, структуры и функции.
- **Экологичное производство и строительство систем вторичной переработки**
. С развитием политики двойного сокращения выбросов углерода производство вольфрамовых сплавов будет преобразовано в низкоуглеродное и энергосберегающее, увеличится степень переработки отходов и будет создана замкнутая система круговой экономики.
- **Аддитивное производство и изготовление на заказ сложной конструкции**
Изготавливайте противовесы из вольфрамового сплава сложной конструкции с помощью технологии 3D-печати для дальнейшей оптимизации распределения структуры и веса, а также адаптируйте их к будущей тенденции персонализированной и мелкосерийной настройки строительного оборудования.

Краткое содержание главы

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Противовесы из вольфрамового сплава широко используются и играют решающую роль в автомобильной и строительной промышленности, включая динамические противовесы для двигателей и шасси, распределение противовесов для гоночных автомобилей, модули противовесов для высокоскоростных железных дорог, противовесы для подъемных механизмов и стабильные противовесы для крупногабаритной строительной техники. Благодаря своей превосходной плотности и механическим свойствам, вольфрамовые сплавы значительно способствовали снижению веса, повышению производительности и безопасности транспортных средств и машин. С развитием интеллектуального производства и технологий материалов конструкция противовесов из вольфрамового сплава будет развиваться в сторону более высокой точности, модульности и интеллектуальности, продвигая автомобильную и инженерную промышленность к более высокому уровню технологических инноваций.

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

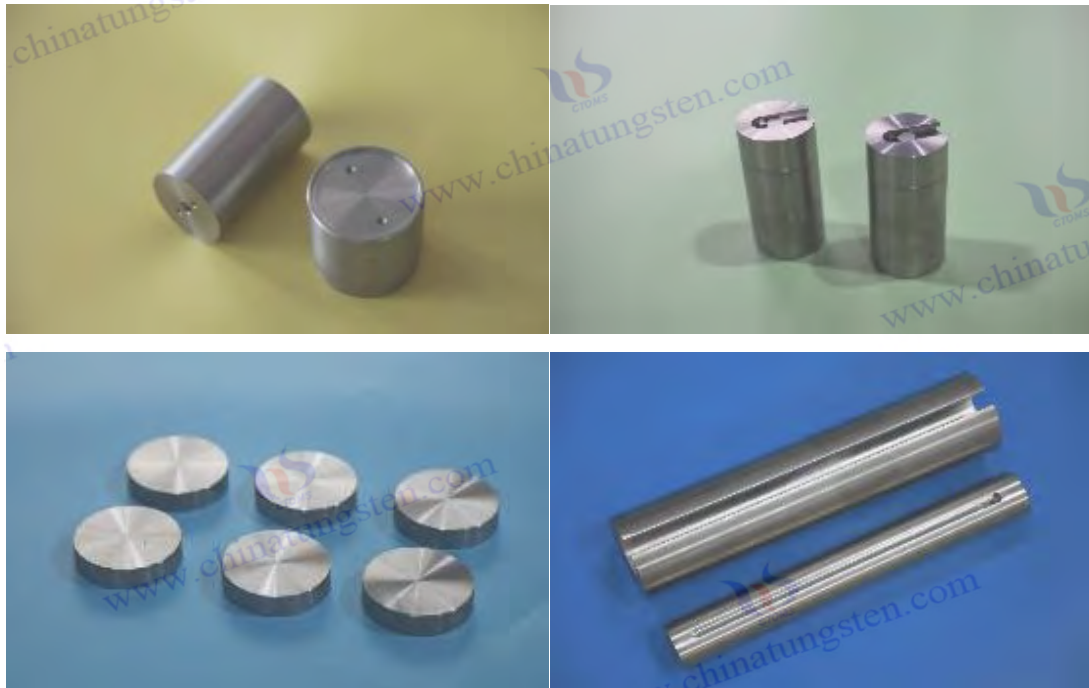
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



Глава 7. Применение противовесов из вольфрамового сплава в электронном и медицинском оборудовании

7.1 Компоненты противовеса для точных приборов и гироскопов

В области высокоточных приборов, особенно в инерциальных навигационных системах, компоненты противовеса играют ключевую роль в балансе масс. Гироскопы, являясь важным компонентом инерциальных навигационных систем, напрямую влияют на точность измерений и стабильность системы благодаря распределению масс ротора и вращающихся частей. Вольфрамовый сплав, обладающий превосходной плотностью и высокими механическими свойствами, обладает незаменимым преимуществом в этом типе компонентов противовеса.

7.1.1 Анализ случая

Противовес авиационного инерциального навигационного гироскопа

Известная аэрокосмическая компания использует микрогрузы из вольфрамового сплава для точной балансировки ротора гироскопа нового поколения инерциальных навигационных гироскопов. Благодаря плотности до $18,5 \text{ г/см}^3$, противовесы из вольфрамового сплава обеспечивают точность определения массы на уровне микрограммов при очень ограниченном пространстве. Такая конструкция значительно снижает вибрацию и эксцентриситет ротора, вызванные неравномерным распределением массы, устраняя источник погрешности в процессе измерения.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

После системного динамического моделирования и тщательного тестирования динамической балансировки точное расположение противовесов повысило точность измерения угловой скорости гироскопом и дополнительно оптимизировало работу системы управления положением самолёта. Это существенно повысило устойчивость и безопасность полёта, особенно в условиях высокой динамики.

Высокоточные противовесы в геологоразведочном оборудовании. В области сейсморазведки стабильность работы вибродатчиков и сейсмоприборов определяет точность геологических данных.

Производитель геологоразведочного оборудования использует противовесы из вольфрамового сплава и устанавливает их в вибросистему оборудования, обеспечивая высокую чувствительность датчика к мельчайшим колебаниям грунта.

Компоненты из вольфрамового сплава обеспечивают достаточную массу блока противовеса при ограниченном объёме, что повышает механическую устойчивость и помехоустойчивость оборудования. В сложных полевых условиях прибор сохраняет стабильную работу, а точность сбора данных значительно повышается, что эффективно способствует анализу геологической структуры и разведке ресурсов.

7.1.2 Материальный процесс

Процесс порошковой металлургии

Грузила из вольфрамового сплава обычно изготавливаются с использованием передовых технологий порошковой металлургии. В качестве сырья используется высокочистый вольфрамовый порошок, а заготовка из вольфрамового сплава высокой плотности формируется путем высокотемпературного спекания в вакууме или инертной атмосфере. Этот процесс исключает поры и включения, обеспечивая однородную и плотную внутреннюю структуру материала.

Спеченный вольфрамовый сплав обладает превосходной механической прочностью и стабильными физическими свойствами, что позволяет адаптировать его к длительной эксплуатации прецизионных приборов. Метод порошковой металлургии также позволяет оптимизировать твердость, вязкость и технологичность материала путем регулирования его состава (например, путем добавления флюса, например, никеля и железа) для удовлетворения особых требований к материалам противовесов, предъявляемых к различным приборам.

Механическая обработка и прецизионное шлифование

Спеченный блок из вольфрамового сплава подвергается механической обработке, становясь основой элемента противовеса. Черновая и чистовая обработка выполняются на станках с ЧПУ в сочетании с технологией сверхточного шлифования для достижения точности размеров на микронном уровне. В процессе шлифования особое внимание уделяется

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

плоскостности поверхности и постоянству размеров, чтобы гарантировать соответствие блока противовеса проектным требованиям при сборке.

В процессе обработки необходимо строго контролировать подвод тепла и параметры резания, чтобы предотвратить локальные напряжения и деформацию материала. Для сверхмалых компонентов противовеса также могут использоваться технологии микрообработки, такие как электроэрозионная обработка (ЭЭО), обеспечивающие точность изготовления деталей сложной формы.

Обработка поверхности

Для повышения коррозионной стойкости и качества поверхности компонентов противовеса часто применяются методы химической и механической полировки, а также гальванопокрытия. Химическая полировка позволяет устранить микроскопические дефекты поверхности, снизить коэффициент трения и снизить риск осыпания частиц.

Поверхностное покрытие (например, никелирование, золочение и т. д.) не только повышает коррозионную стойкость, но и улучшает сборочные характеристики компонентов, предотвращая изменение размеров и ухудшение контакта, вызванные окислением. В некоторых случаях на поверхности из вольфрамовых сплавов также наносят радиационные или износостойкие покрытия для повышения их устойчивости к воздействию окружающей среды.

7.1.3 Метод проектирования

Анализ моделирования распределения масс

На этапе проектирования для моделирования динамического поведения ротора гироскопа использовался конечно-элементный анализ (КЭА), с упором на влияние распределения массы на устойчивость ротора во время вращения. Путем моделирования различных схем распределения веса были определены оптимальные положение, форма и масса грузового блока для достижения идеального баланса инерции ротора.

Процесс моделирования объединяет режим вибрации ротора для прогнозирования возможной резонансной частоты и амплитуды, позволяет избежать нелинейных колебаний и динамической неустойчивости в системе, а также повышает общую надежность оборудования.

Тест на динамическое равновесие

После изготовления ротор с установленными элементами нагрузки испытывается на высокоточной динамической балансировочной машине. Направление и величина отклонения определяются путем измерения силы дисбаланса и амплитуды колебаний при вращении ротора.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Данные испытаний передаются обратно конструкторской группе для точной настройки, увеличения или уменьшения противовеса, чтобы обеспечить плавное вращение всей машины и соответствие проектным характеристикам. Этот процесс повторяется многократно, пока не будет достигнута заданная точность балансировки на уровне микрограмма.

Отказоустойчивая конструкция

Учитывая погрешности процессов изготовления и сборки, в конструкции предусмотрен баланс для регулировки противовеса, что позволяет регулировать массу и положение блока противовеса в небольшом диапазоне для компенсации допусков обработки и погрешностей сборки.

Отказоустойчивая конструкция также включает в себя взаимозаменяемость модулей противовеса, что облегчает обслуживание и регулировку на месте, обеспечивая стабильность и надежность прибора при длительной эксплуатации.

7.2 Вольфрамовый блок для стабилизации изображения в модуле камеры мобильного телефона (OIS)

Благодаря постоянному совершенствованию функций камер смартфонов оптическая стабилизация изображения (OIS) стала одной из ключевых технологий, обеспечивающих чёткость изображения и стабильность видео. Микрогрузики из вольфрамового сплава широко используются в системах стабилизации изображения в модулях камер благодаря своей высокой плотности, прочности и превосходной производительности, что значительно повышает эффективность и скорость реакции системы стабилизации изображения.

7.2.1 Анализ случая

Конструкция вольфрамового блока для известного бренда смартфонов

В условиях жесткой конкуренции на современном рынке смартфонов известный бренд стал лидером, заменив традиционные грузики на основе свинца микрогрузиками из вольфрамового сплава. Плотность вольфрамового сплава составляет около $11,3 \text{ г/см}^3$, что значительно выше, чем у свинцового сплава, что позволяет создавать грузики более высокого качества при очень малом объеме. Такая конструкция уменьшает общий вес модуля стабилизации примерно на 30%, а его объем – на 20%, значительно повышая скорость отклика и чувствительность камеры.

Вольфрамовый блок оптимизирует момент инерции, тем самым улучшая реакцию механизма стабилизации на угловое ускорение и эффективно уменьшая размытость изображения, вызванную дрожанием руки или движением. Кроме того, хорошие механические свойства и износостойкость вольфрамового сплава обеспечивают долговременную стабильную работу модуля и значительно повышают надежность изделия.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Многоосевая система противовесов с технологией защиты от сотрясений

Современные модули камер смартфонов используют многоосевую технологию стабилизации изображения, которая требует от системы противовесов возможности динамической балансировки в нескольких направлениях, таких как оси X и Y. Микропротивовес из вольфрамового сплава представляет собой многоступенчатую конструкцию, которая взаимодействует с высокоточным датчиком, встроенным в камеру, для сбора данных о движении и обеспечения многоосевой стабилизации изображения в режиме реального времени.

В этой конструкции используются различные схемы распределения и формы вольфрамовых блоков для оптимизации момента инерции, что позволяет системе стабилизации изображения достигать наилучшего эффекта баланса в нескольких измерениях, эффективно уменьшая размытость изображения в условиях высокоскоростного движения и вибрации, а также улучшая четкость изображения и стабильность видео.

7.2.2 Материальный процесс

Отбор ультрадисперсного порошка и процесс спекания

В противовесах из вольфрамового сплава используется ультрадисперсный вольфрамовый порошок с размером частиц менее 1 мкм, что обеспечивает высокую плотность и однородность структуры материала в процессе спекания. Высокотемпературное спекание под высоким давлением, обычно выше 1500 °C, способствует полной диффузии и склеиванию частиц порошка, устранению пор и повышению механической прочности и плотности материала.

Благодаря оптимизации параметров процесса мы можем добиться отсутствия существенных микротрещин и дефектов внутри подложки из вольфрамового сплава, гарантируя противовесу отличную усталостную прочность и стабильные физические свойства.

Микрообработка и интеграция МЭМС

Вольфрамовый блок формируется и обрабатывается с помощью микрообработки с ЧПУ и лазерной резки для достижения точности контурной обработки. Этот процесс позволяет достичь микронных допусков, что соответствует строгим требованиям к размеру и форме противовеса в модулях камер мобильных телефонов.

Обработанный вольфрамовый блок тесно интегрирован с механизмом компенсации сотрясений MEMS в модуле камеры. Благодаря продуманной конструкции соединения, вольфрамовый блок плотно соединен с микродвигателями, пружинами и другими компонентами, обеспечивая стабильность всей конструкции и динамический отклик.

Обработка поверхности покрытием

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Для снижения трения между противовесом и прилегающим механизмом и предотвращения ухудшения характеристик, вызванного окислением, на поверхность вольфрамового блока обычно наносится твёрдое плёночное покрытие. В качестве покрытия обычно используются нитрид титана (TiN), нитрид хрома (CrN) и др. Эти плёнки не только обладают превосходной износостойкостью и смазывающими свойствами, но и эффективно предотвращают окисление под воздействием окружающей среды и продлевают срок службы противовеса.

Кроме того, толщина покрытия, как правило, контролируется в пределах нескольких микрон, что не только обеспечивает защитные свойства, но и не влияет на распределение массы и динамические характеристики противовеса.

7.2.3 Метод проектирования

Мультифизическое сопряжённое моделирование

Вольфрамовый блок учитывает не только механическую динамику, но и эффекты электромагнетизма и теплопроводности. Для моделирования механического отклика, эффекта электромагнитного привода и распределения тепла в модуле антивибрации в реальных рабочих условиях используется программное обеспечение для моделирования взаимодействия полей с различными физическими условиями.

Оптимизация формы и распределения массы вольфрамового блока путем моделирования позволяет максимально увеличить момент инерции и добиться оптимального соотношения масс, гарантируя, что механизм протivotряски остается чувствительным и потребляет минимальное количество энергии при высокоскоростном многоосном движении.

Быстрое прототипирование и итеративное проектирование

Учитывая сложную форму и высокие требования к точности противовесов из вольфрамового сплава, команда разработчиков использовала технологию 3D-печати для изготовления высокоточных пресс-форм, что значительно сократило цикл разработки. Благодаря быстрому прототипированию для проверки конструкторских идей и обратной связи по результатам реальных сборочных испытаний были проведены многочисленные этапы итеративной оптимизации для повышения степени соответствия точности конструкции и производственного процесса.

Этот метод не только снижает риски разработки, но и ускоряет запуск продукта, отвечая потребностям быстрых обновлений в индустрии мобильных телефонов.

Интегрированный контроль точности сборки

Чтобы обеспечить точность повторного позиционирования блока противовеса в процессе сборки, при проектировании вольфрамового блока учитываются монтажная канавка и защелкивающаяся конструкция, чтобы гарантировать, что вольфрамовый блок может быть

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

точно вставлен в раму модуля противодействия сотрясения, чтобы избежать влияния отклонения сборки на эффект противодействия сотрясению.

Кроме того, конструкция приспособлений автоматизированной сборочной линии позволяет добиться эффективного и стабильного процесса сборки, повысить производительность и однородность производства, а также гарантировать, что каждый модуль камеры будет обладать ожидаемыми характеристиками устойчивости к сотрясениям.

7.3 Стабильная конструкция веса для оборудования КТ и МРТ

Оборудование для КТ (компьютерной томографии) и МРТ (магнитно-резонансной томографии) является основой современной медицинской визуализации. Стабильность их работы и качество изображения напрямую влияют на эффективность диагностики и удобство для пациента. Противовесы из вольфрамового сплава широко используются в ключевых компонентах этого оборудования благодаря высокой плотности, превосходным механическим свойствам и немагнитным свойствам материала, особенно для балансировки и контроля вибрации поворотных столов и подвижных частей.

7.3.1 Анализ случая

Противовес поворотного стола КТ-сканера

Известный международный производитель медицинского оборудования использует противовесы из вольфрамового сплава высокой плотности для оптимизации динамического баланса поворотного стола своего нового КТ-сканера. При вращении поворотного стола КТ-сканера на высокой скорости, если вес распределен неравномерно, возникают сильные вибрации, повышается уровень шума и размывается изображение, что влияет на точность диагностики.

Благодаря точному расчету момента инерции поворотного стола и сочетанию его с высокой плотностью противовесов из вольфрамового сплава, модуль противовеса разработан таким образом, чтобы быть компактным и иметь большую массу, что позволяет поворотному столу достичь идеального состояния равновесия при вращении с высокой скоростью. Это решение по оптимизации позволило снизить амплитуду вибрации поворотного стола более чем на 40%, значительно снизить уровень шума оборудования, а также значительно повысить комфорт пациента и четкость диагностических изображений.

Система грузов из вольфрамового сплава для аппарата МРТ

Оборудование для МРТ предъявляет чрезвычайно строгие требования к магнитным свойствам материалов. Любые магнитные примеси влияют на однородность высокочастотного магнитного поля, снижая качество изображения. Производитель медицинского оборудования использует высокочистые вольфрамовые сплавы и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

изготавливает немагнитные противовесы из вольфрамового сплава методом вакуумной плавки и прецизионной обработки.

Вольфрамовый противовес системы имеет научно обоснованную и рациональную конструкцию, эффективно предотвращая искажение магнитного поля и помехи сигнала, обеспечивая стабильную работу оборудования в условиях сильного магнитного поля. Система немагнитного противовеса обеспечивает высокое разрешение изображений, получаемых с помощью МРТ-аппарата, и является одной из ключевых технологий, обеспечивающих точность клинической диагностики.

7.3.2 Материальный процесс

Плавка высокочистого вольфрамового сплава

Для изготовления противовесов из вольфрамового сплава в первую очередь требуются материалы высокой чистоты и немагнитности. Использование передовой технологии вакуумной дуговой плавки (ВДП) позволяет посредством многократной плавки и рафинирования удалить из материала магнитные примеси и газовые включения, обеспечивая чистоту и структурную однородность сплава.

Кроме того, строгий контроль состава и равномерный процесс термической обработки придают вольфрамовому сплаву равномерную структуру зерна и стабильные механические свойства, что отвечает двойным требованиям медицинского оборудования к немагнитным материалам и высокой прочности.

Обработка на станках с ЧПУ и лазерная сварка

Заготовки из высокочистого вольфрамового сплава обрабатываются в блоки противовесов сложной формы методом прецизионной фрезерной обработки с ЧПУ, что обеспечивает контроль допусков размеров на микронном уровне. Затем для надежного соединения нескольких модулей противовеса используется технология лазерной сварки. Сварные швы получаются небольшими и прочными, что позволяет избежать проблем с зоной термического влияния и концентрацией напряжений, характерных для традиционных методов сварки.

Лазерная сварка обеспечивает устойчивость и долговечность всей конструкции системы противовесов, отвечая требованиям длительной непрерывной эксплуатации оборудования.

Защитная обработка поверхности

Для повышения износостойкости и коррозионной стойкости противовеса на поверхность вольфрамового сплава обычно наносится керамическое покрытие на основе оксида алюминия. Это покрытие обладает высокой твердостью и эффективно противостоит механическому износу и коррозии под воздействием окружающей среды, продлевая срок службы противовеса.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Кроме того, покрытие обладает хорошими изоляционными свойствами, что позволяет избежать электромагнитных помех внутри оборудования и обеспечить стабильную работу диагностического оборудования.

7.3.3 Метод проектирования

Сочетание структурной механики с моделированием магнитного поля

При проектировании противовеса используются методы структурной механики и моделирование взаимодействия магнитного поля для комплексного анализа напряжений в блоке противовеса и его влияния на магнитное поле МРТ. Конечно-элементная модель одновременно учитывает распределение механических напряжений и однородность магнитного поля для оптимизации размера и компоновки блока из вольфрамового сплава. Этот метод эффективно предотвращает проблемы искажения магнитного поля и механической нестабильности, вызванные неразумной конструкцией противовеса, обеспечивая безопасную работу оборудования и точность изображений.

Концепция модульного дизайна

Модуль противовеса из вольфрамового сплава имеет стандартизированную конструкцию, представляющую собой съёмный блок противовеса. Такая конструкция упрощает обслуживание и замену на месте, повышает эффективность обслуживания оборудования и снижает затраты на обслуживание.

Модульная конструкция также позволяет изготавливать индивидуальные решения по противовесам для различных типов оборудования, повышая гибкость проектирования и эффективность производства.

Конструкция для контроля шума и вибрации

Система противовесов сочетает в себе демпфирующие материалы и конструкцию виброизолирующей конструкции, обеспечивая многократный эффект снижения вибрации и шума. Блоки противовеса из вольфрамового сплава рационально расположены для снижения амплитуды механических колебаний, а демпфирующий слой эффективно поглощает энергию вибрации и замедляет распространение шума.

Такая конструкция повышает устойчивость оборудования во время работы и комфорт пациентов, отвечая клиническим требованиям к бесшумной обстановке.

7.4. Мобильная балансировочная структура оборудования для лучевой терапии

В радиотерапевтическом оборудовании точность механического движения и балансировка играют ключевую роль в обеспечении эффективности лечения и безопасности пациента. Вольфрамовый сплав широко используется в конструкции мобильных противовесов радиотерапевтического оборудования благодаря своей высокой плотности, прочности и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

хорошей обрабатываемости, обеспечивая стабильность и точность позиционирования излучающей головки и механического манипулятора при многостепенном движении.

7.4.1 Анализ случая

Противовес головки пучка линейного ускорителя

Ведущий международный производитель медицинского оборудования разработал систему противовесов из вольфрамового сплава для рентгеновской головки линейного ускорителя. При вращении рентгеновской головки с несколькими степенями свободы противовес обеспечивает балансировку оборудования за счёт точного распределения массы, предотвращая вибрации, вызванные дисбалансом и влияющие на позиционирование луча.

Противовес из вольфрамового сплава отличается малыми размерами и большой массой, что позволяет регулировать вес при компактной конструкции рентгеновской головки, эффективно повышая точность лечения и стабильность оборудования. Клиническое применение показывает, что такая конструкция противовеса значительно снижает механические ошибки и вибрации, а также повышает безопасность лечения пациентов.

Конструкция противовеса для роботизированного манипулятора для лучевой терапии

Современные роботизированные манипуляторы для лучевой терапии имеют многошарнирную конструкцию, а система противовесов должна обеспечивать стабильную поддержку в широком диапазоне движений. Производитель медицинского оборудования разработал решение на основе модульных противовесов из вольфрамового сплава, которое обеспечивает динамическое равновесие манипулятора в различных положениях за счёт комбинирования противовесов разной массы и размера.

Такая конструкция повышает гибкость и грузоподъемность роботизированной руки, позволяя радиотерапевтическому оборудованию быстро и точно определять целевую область лечения, повышая эффективность лечения и комфорт пациента.

7.4.2 Материальный процесс

Формование смеси порошка вольфрамового сплава высокой плотности

Высокоочищенный вольфрамовый порошок пропорционально смешивается с легирующими добавками, и противовесы из вольфрамового сплава сложной формы изготавливаются методом холодного изостатического прессования. Холодное изостатическое прессование обеспечивает плотность и однородность материала, что подходит для производства компонентов противовесов сложной геометрической формы с высокими требованиями к механическим характеристикам.

Этот процесс позволяет избежать риска деформации во время высокотемпературного спекания, повышает размерную точность и механические свойства готового изделия, а также

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

отвечает требованиям радиотерапевтического оборудования к высокостабильным материалам.

Технология точной резки и сварки

После формовки противовес из вольфрамового сплава подвергается детальной обработке проволочной резкой для точного достижения проектных размеров и структуры. При соединении нескольких деталей используется лазерная сварка, обеспечивающая прочность и герметичность соединений, а зона термического влияния сварки невелика, что позволяет избежать ухудшения эксплуатационных характеристик материала.

Сочетание технологий прецизионной резки и лазерной сварки отвечает высоким требованиям, предъявляемым к сложным конструкциям противовесов, и обеспечивает устойчивость и долговечность всей конструкции.

Радиационно-стойкое покрытие

Оборудование для лучевой терапии подвергается длительному воздействию высокоинтенсивного излучения, и поверхность противовеса легко подвергается воздействию радиации, что приводит к ухудшению эксплуатационных свойств материала. Нанесение специальных радиационно-стойких покрытий (например, композитных материалов на основе алюминиево-кремниевой керамики) позволяет эффективно предотвратить радиационное повреждение поверхности противовеса.

Такое покрытие не только повышает износостойкость и коррозионную стойкость, но и продлевает срок службы противовеса, обеспечивая длительную и стабильную работу оборудования.

7.4.3 Метод проектирования

Моделирование динамического баланса

Программное обеспечение для моделирования динамики многотельных систем используется для моделирования состояния динамического равновесия робота-радиотерапевтического оборудования и излучающей головки при различных траекториях движения. Анализ распределения инерционных сил и моментов позволяет точно рассчитать массу и положение противовеса, обеспечивая устойчивость оборудования при многостепенном движении.

Динамическое моделирование также позволяет прогнозировать потенциальные вибрации и концентрации напряжений во время движения оборудования, оптимизируя проектирование и снижая механическую усталость.

Модульная и регулируемая конструкция

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Конструкция весов представляет собой модульный блок, который легко собирается, регулируется и балансируется на месте. Модульная конструкция обеспечивает различные варианты конфигурации для адаптации к различным моделям оборудования и потребностям лечения.

Противовес можно быстро разобрать и заменить с помощью резьбовых соединений, защелок или пряжек, что значительно повышает эффективность обслуживания и удобство регулировки на месте.

Эргономика и безопасность

Конструкция противовеса полностью учитывает безопасность и удобство обслуживания оборудования для операторов. Модули противовеса расположены рационально, чтобы не загромождать рабочее пространство оборудования и снизить риск случайного столкновения.

В то же время простой в использовании механизм блокировки и разблокировки позволяет техническим специалистам быстро выполнять работы по техническому обслуживанию, сокращает время простоя оборудования и обеспечивает непрерывность клинической работы.

7.5 Системы противовесов для микроБПЛА и портативных устройств

7.5.1 Анализ случая

- **Противовес для стабилизации полета микро-БПЛА.**

Некоторые микро-БПЛА военного класса используют микропротивовесы из вольфрамового сплава для точной регулировки центра тяжести корпуса, что повышает устойчивость полета и сопротивление ветру.

- **Портативные электронные балансировочные**

грузики используются в переносных медицинских испытательных приборах для достижения удерживающего равновесия и стабильной работы.

7.5.2 Материальный процесс

- **Сверхточная микрообработка**

использует технологию ультразвуковой обработки и электроискровой обработки для изготовления противовесов из вольфрамового сплава с точностью до микрона.

- **Нанообработка поверхности и**

нанопокрытие повышают твердость поверхности и коррозионную стойкость материала, что делает его пригодным для использования в сложных условиях.

- **Интегрированное производство**

в сочетании с интеграцией микроэлектронных компонентов позволяет добиться компактной структуры и сложных функций.

7.5.3 Метод проектирования

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Конструкция динамической регулировки центра тяжести**
оснащена регулируемым модулем противовеса для поддержки динамической регулировки баланса БПЛА во время полета и повышения гибкости.
- **Баланс между легкостью и высокой прочностью.**
Комплексно продумайте сочетание противовеса из вольфрамового сплава и легких материалов для достижения оптимальной общей производительности.
- **Конструкция, обеспечивающая адаптацию к условиям окружающей среды.**
Многофункциональная система противовесов спроектирована с учетом сейсмостойкости, водонепроницаемости, пыленепроницаемости и т. д. для обеспечения длительной и надежной эксплуатации оборудования.

7.5 Системы противовесов для микроБПЛА и портативных устройств

В связи с широким распространением микродронов и портативных электронных устройств требования к стабильности, гибкости, объёму и весу оборудования постоянно растут. Вольфрамовый сплав стал важным материалом для систем противовесов этих устройств благодаря своей высокой плотности и превосходным механическим свойствам. Благодаря точному распределению массы и передовым технологиям производства, система противовесов из вольфрамового сплава эффективно повышает производительность и адаптируемость оборудования к окружающей среде.

7.5.1 Анализ случая

Вес стабилизации полета микро-БПЛА

В одном из микро-БПЛА военного назначения используется микрогруз из вольфрамового сплава для точной регулировки центра тяжести корпуса. Высокоплотный вольфрамовый сплав позволяет достичь большой массы в очень ограниченном пространстве, тем самым точно регулируя центр тяжести БПЛА и оптимизируя положение в полёте и аэродинамические характеристики.

Такая конструкция существенно повышает устойчивость полета и ветроустойчивость БПЛА, особенно в сложных ветровых условиях и условиях скоростного маневрирования, демонстрируя отличную точность управления, обеспечивая надежность и безопасность выполнения миссии.

Портативный электронный балансировочный грузик

В портативных медицинских испытательных приборах противовесы из вольфрамового сплава используются для оптимизации балансировки оборудования и снижения утомляемости пользователя. Правильная настройка противовеса позволяет повысить удобство и устойчивость работы с оборудованием, обеспечивая точность и удобство проведения испытаний.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Противовесы из вольфрамового сплава компактны и эффективны, отвечают двойным требованиям портативных устройств к портативности и высокой производительности, а также повышают конкурентоспособность продукции на рынке.

7.5.2 Обработка материалов

Сверточная микрообработка

Микропротивовесы из вольфрамового сплава производятся с использованием технологий ультразвуковой и электроэрозионной обработки (ЭЭО), обеспечивающих точность размеров на микронном уровне. Ультразвуковая обработка отличается высокой эффективностью резки и низким термическим воздействием, подходит для литых сложных и тонких структур.

Электроискровая обработка позволяет обрабатывать сложные внутренние отверстия и тонкие структуры из высокотвердых вольфрамовых сплавов, удовлетворяя требованиям к сложности формы и точности микрогрузов.

Нанообработка поверхности

Противовесы из вольфрамового сплава обработаны нанопокрывтиями, такими как нанооксидные покрытия или нанопленки нитрида титана (TiN), которые значительно повышают твердость поверхности и коррозионную стойкость. Нанопокрывтия также повышают износостойкость противовесов и эффективно защищают их от воздействия влажности окружающей среды, солевого тумана и химической коррозии.

Данная технология обработки поверхности обеспечивает долговременную стабильную работу системы противовесов в сложных условиях эксплуатации на открытом воздухе и продлевает срок ее службы.

Интегрированное производство

Система противовеса из вольфрамового сплава тесно интегрирована с микроэлектронными компонентами, что обеспечивает компактность и multifunctionality. Благодаря точной конструкции противовес идеально сочетается с печатной платой, датчиком и исполнительным механизмом, что уменьшает общий объем и повышает интеграцию и надежность оборудования.

Интегрированное производство эффективно сокращает процесс сборки, снижает производственные затраты, а также повышает помехоустойчивость и стабильность работы системы.

7.5.3 Метод проектирования

Конструкция с динамической регулировкой центра тяжести

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Конструкция регулируемого модуля противовеса из вольфрамового сплава позволяет дрону корректировать центр тяжести в соответствии с текущим состоянием полёта. Динамическая конструкция противовеса использует данные обратной связи от датчиков и корректирует положение противовеса с помощью микропривода, обеспечивая адаптивную оптимизацию положения дрона в полёте.

Такая конструкция повышает адаптивность дрона к внешним возмущениям и маневренность, обеспечивая безопасность полета и качество выполнения миссии.

Баланс между легкостью и высокой прочностью

Сочетание высокоплотных противовесов из вольфрамового сплава с лёгкими конструкциями из таких материалов, как углеродное волокно и алюминиевый сплав, обеспечивает комплексную оптимизацию общей производительности. Благодаря сочетанию различных материалов достигается баланс между минимизацией веса и максимальной прочностью системы противовесов.

Этот метод учитывает как контроль веса, так и структурную устойчивость самолета, повышая его выносливость и грузоподъемность.

Проектирование с учетом адаптации к окружающей среде

Учитывая требования к эксплуатации дронов и портативных устройств в изменяющихся условиях, мы разработали многофункциональную систему противовесов, которая отличается ударопрочностью, водонепроницаемостью и пылезащитой. Использование герметичных конструкций и вибропоглощающих материалов эффективно снижает воздействие механических ударов на противовес и всё оборудование.

Конструкция, обеспечивающая адаптацию к окружающей среде, гарантирует, что оборудование будет поддерживать стабильную производительность и надежную работу в экстремальных климатических условиях и сложных рельефах.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

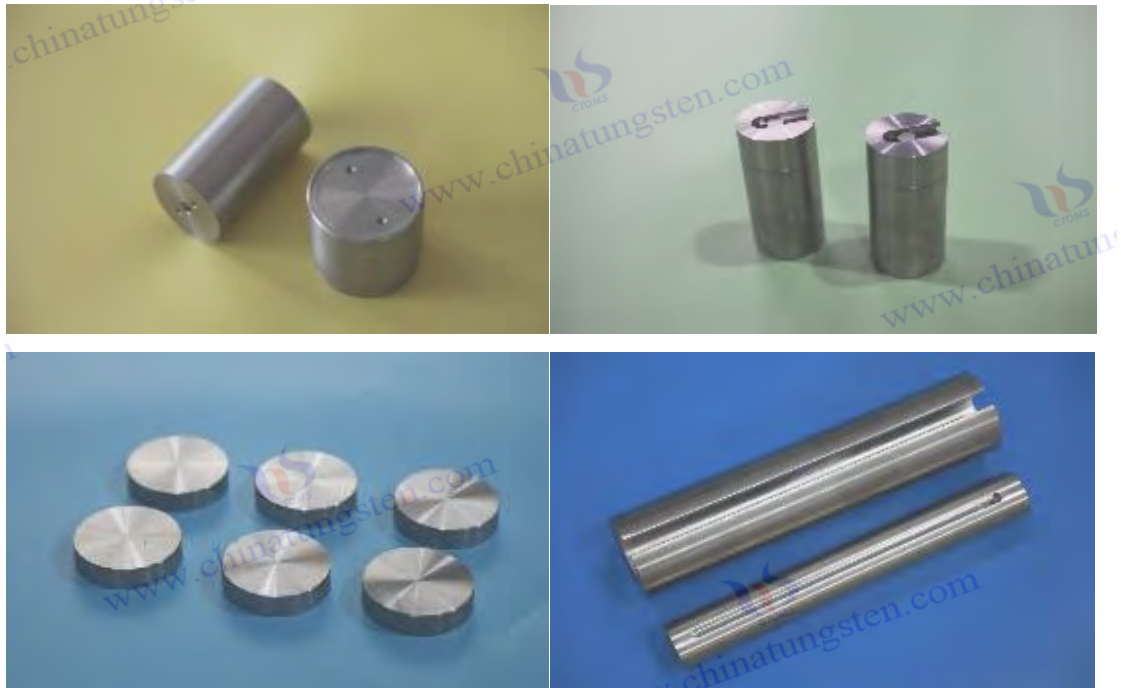
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



Глава 8. Применение противовесов из вольфрамового сплава в спорте и гражданском строительстве

Технология противовесов из вольфрамового сплава широко применяется в спортивном оборудовании и гражданской продукции благодаря высокой плотности, прочности и превосходной обрабатываемости. Благодаря точному распределению массы противовесы из вольфрамового сплава не только повышают производительность спортивного оборудования, но и оптимизируют пользовательский опыт, способствуя технологическому развитию и развитию рынка в смежных отраслях.

8.1 Конструкция весов клюшек для гольфа и шаров для боулинга

8.1.1 Расчет веса клюшки для гольфа

Эффективность клюшки для гольфа тесно связана со скоростью замаха, стабильностью и точностью удара. Разумный подбор веса может значительно улучшить баланс и инерционность клюшки, тем самым повышая эффективность удара.

Вольфрамовый сплав позволяет добиться лучшего распределения массы в ограниченном пространстве, что позволяет более концентрированно распределить вес головки клюшки, увеличивая момент инерции при ударе по мячу и, таким образом, повышая устойчивость и устойчивость клюшки. Использование утяжелителей из вольфрамового сплава позволяет добиться следующих преимуществ при изготовлении клюшек для гольфа:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Улучшенная скорость замаха** : разумное распределение веса снижает общую нагрузку при замахе и повышает эффективность замаха игрока.
- **Повышенная стабильность удара** : Высокая плотность вольфрамового сплава увеличивает инерцию головки клюшки и снижает погрешность отклонения от центра удара.
- **Оптимизированное ощущение замаха** : регулировка веса оптимизирует положение центра тяжести, что улучшает ощущение замаха и обратную связь.

В процессе производства грузики из вольфрамового сплава обычно интегрируются в структуру головки клюшки посредством прецизионной обработки и встроенной конструкции, что обеспечивает точность и надежность расположения грузиков.

8.1.2 Конструкция грузила для боулинг-шара

Конструкция грузиков шара для боулинга напрямую влияет на устойчивость качения и точность управления шаром. Грузики из вольфрамового сплава широко используются во внутренней системе грузиков шаров для боулинга, улучшая общие характеристики шара.

Благодаря высокой плотности вольфрамового сплава вес мяча равномерно распределяется внутри него, что оптимизирует инерцию качения и устойчивость траектории, помогая игрокам добиться более точного контроля мяча и бросков. Среди конкретных преимуществ:

- **Точный контроль траектории** : грузики из вольфрамового сплава регулируют инерцию качения и улучшают характеристики качения мяча по трассе.
- **Улучшенная устойчивость вращения** : грузы высокой плотности снижают вибрацию, вызванную эксцентриситетом, и обеспечивают плавное вращение.
- **Комфортное ощущение** : утяжеляющие блоки расположены разумно, чтобы усилить ощущение устойчивости при удержании и отпуске мяча.

Грузики из вольфрамового сплава часто изготавливаются в виде модульных конструкций, что облегчает индивидуальную настройку и обслуживание, а также повышает прочность и срок службы шара.

8.2 Грузы для стрелкового спортивного инвентаря

Стрелковый спорт требует исключительно высокой точности и стабильности снаряжения, и система противовесов играет ключевую роль в винтовках, пистолетах и другом стрелковом оборудовании. Правильно спроектированные противовесы не только эффективно снижают отдачу и вибрацию, но и оптимизируют тактильные ощущения стрелка, повышают точность стрельбы и стабильность непрерывной стрельбы.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8.2.1 Требования к конструкции противовеса

При проектировании веса стрелкового оборудования основное внимание уделяется следующим аспектам:

- **Уменьшение воздействия отдачи** : путем увеличения массы корпуса оружия и ее разумного распределения можно уменьшить воздействие отдачи на стрелка.
- **Улучшите стабильность прицеливания** : добавьте передний противовес, чтобы улучшить балансировку оружия и уменьшить тряску при прицеливании.
- **Повышенная механическая устойчивость** : сбалансируйте конструкцию оружия, чтобы предотвратить вибрацию и колебание во время стрельбы, влияющие на точность стрельбы.
- **Эргономическая оптимизация** : весовая конструкция учитывает удобство использования стрелка, гарантируя снижение утомляемости при длительной стрельбе.

8.2.2 Преимущества вольфрамового сплава в утяжелителях стрелкового оборудования

Вольфрамовый сплав как материал противовеса имеет существенные преимущества в стрелковом оборудовании:

- **Высокая плотность обеспечивает концентрацию веса** : плотность вольфрамового сплава составляет около 19,3 г/см³, что значительно выше, чем у свинца и стали. Это позволяет достичь большей массы в ограниченном пространстве и эффективно улучшить балансировку веса.
- **Отличные механические свойства** : хорошая прочность и износостойкость, обеспечивающие структурную устойчивость и долговечность противовеса во время стрельбы.
- **Экологичность** : по сравнению с традиционными свинцовыми грузилами, вольфрамовый сплав нетоксичен и безопасен для окружающей среды, соответствует требованиям охраны труда и техники безопасности, предъявляемым к современному спортивному оборудованию.
- **Легко обрабатывать и настраивать** : вольфрамовый сплав может обрабатываться методами порошковой металлургии и прецизионной обработки для достижения сложной конструкции веса, отвечающей требованиям различных моделей огнестрельного оружия.

8.2.3 Типичные случаи применения

- **Передний противовес для спортивной винтовки.**

В этой винтовке международного уровня используется передний противовес из вольфрамового сплава, который эффективно снижает отдачу и повышает стабильность стрельбы при непрерывной стрельбе. Противовес устанавливается на

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

переднем конце ствола с помощью прецизионной обработки, что обеспечивает общую сбалансированность оружия без ущерба для его портативности.

- **Внутреннее утяжеление пистолетной рукоятки.**

Микроутяжелитель из вольфрамового сплава, встроенный в высокопроизводительную рукоятку, оптимизирует центр тяжести рукоятки и повышает чувство устойчивости при удержании оружия. Такая конструкция улучшает тактильные ощущения при стрельбе и повышает скорость и точность прицеливания.

- **Система регулировки хвостового груза снайперской винтовки**

использует модульную конструкцию противовеса из вольфрамового сплава. Снайперская винтовка позволяет гибко регулировать хвостовой груз в соответствии с потребностями стрелка, обеспечивая индивидуальную настройку и повышая точность и комфорт стрельбы на дальние дистанции.

8.3 Грузики для рыболовных снастей и системы балансировки моделей самолетов

Рыболовные снасти и авиамodelи играют важную роль в сфере гражданского досуга, и требования к характеристикам грузовых систем постоянно растут. Рациональное проектирование грузовых систем не только повышает удобство использования и производительность оборудования, но и способствует широкому применению вольфрамовых сплавов в гражданской сфере.

8.3.1 Расчет веса рыболовной снасти

Требования к противовесу

Грузила для рыболовных снастей в основном используются в удильщиках, лесках и поплавках. Их основные функции:

- **Улучшите дальность и точность броска** : благодаря правильной балансировке грузов увеличивается инерция во время броска, а также улучшаются дальность броска и устойчивость.
- **Улучшенные ощущения при работе** : сбалансированное распределение веса штока, снижение усталости запястья и повышенный комфорт при длительной работе.
- **Отрегулируйте чувствительность поплавка** : точно контролируйте вес поплавка, чтобы улучшить чувствительность сигналов рыбы и помочь рыбакам вовремя обнаружить сигналы поклевки рыбы.

Преимущества вольфрамового сплава

- **Высокая плотность обеспечивает компактный вес** : вольфрамовый сплав имеет высокую плотность и может достигать большой массы в очень малом объеме, что соответствует тенденции облегченных рыболовных снастей.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Высокая коррозионная стойкость** : после поверхностной обработки вольфрамовый сплав приобретает превосходные водонепроницаемые и антикоррозионные свойства и подходит для использования в различных водных средах.
- **Гибкость обработки** : вольфрамовый сплав можно изготавливать в различных формах с помощью прецизионной обработки, чтобы соответствовать конструктивным требованиям различных рыболовных снастей.

Типичные случаи

Высококласный бренд удилиц использует грузики из вольфрамового сплава, встроенные в рукоятку и кончик удилица, что значительно улучшает баланс и точность заброса. Согласно реальным испытаниям, дальность заброса удилиц с грузиками из вольфрамового сплава увеличивается на 15%, что значительно улучшает качество рыбалки.

8.3.2 Система балансировки модели самолета

Требования к конструкции противовеса

Система взвешивания моделей самолетов предназначена для оптимизации положения моделей самолетов, дронов и вертолетов в полете с упором на:

- **Устойчивость полета** : обеспечьте равновесие и устойчивость во время полета, регулируя центр тяжести фюзеляжа.
- **Чувствительность управления** : разумное распределение веса повышает скорость реакции и улучшает управляемость и маневренность полета.
- **Облегченная конструкция** : обеспечивая эффект противовеса, постарайтесь уменьшить общий вес и повысить выносливость.

Преимущества применения вольфрамового сплава

- **Противовес высокой плотности для минимизации объема** : высокие характеристики плотности вольфрамового сплава эффективно уменьшают объем противовеса и улучшают внешний вид и аэродинамические характеристики модели самолета.
- **Отличная механическая прочность** : противовес из вольфрамового сплава устойчив к ударам и износу, а также может адаптироваться к сложным условиям полета авиамodelей.
- **Легко настраивается и устанавливается** : модульная конструкция позволяет пользователям гибко регулировать положение и массу груза в соответствии с требованиями полета.

Типичные области применения

Производитель профессиональных авиамodelей выпустил модульную систему балансировки из вольфрамового сплава, которая в сочетании с бортовыми датчиками позволяет корректировать центр тяжести в режиме реального времени во время полета. Система

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

эффективно повышает устойчивость полета и улучшает управляемость авиамоделей, получив высокую оценку любителей авиамоделизма и участников соревнований.

8.4 Камера, стабилизатор и противовес штатива

С непрерывным развитием технологий кино-, теле- и видеосъемки требования к стабильности и удобству эксплуатации операторского оборудования постоянно растут. Система противовесов играет важную роль в камерах, стабилизаторах и штативах, обеспечивая балансировку оборудования, снижая вибрации и повышая гибкость управления. Вольфрамовый сплав стал предпочтительным материалом для изготовления противовесов в этой области благодаря своей высокой плотности, прочности и превосходным механическим свойствам.

8.4.1 Требования к конструкции противовеса

- **Баланс и устойчивость оборудования**

Система противовеса должна точно регулировать центр тяжести камеры и стабилизатора, чтобы гарантировать устойчивость оборудования во время съемки движения и избежать дрожания и размытия изображения.

- **Портативность и гибкость**

Противовес для оборудования должен быть как можно меньше и легче, чтобы фотографу было удобно его переносить и быстро настраивать, обеспечивая при этом разумное распределение веса.

- **Прочность и надежность**

Материал противовеса должен обладать хорошей износостойкостью и коррозионной стойкостью, чтобы адаптироваться к различным условиям стрельбы и частому мобильному использованию.

- **Модульная и настраиваемая**

конструкция противовеса обеспечивает модульность, отвечающую различным требованиям к оборудованию и стрельбе, а также обеспечивает гибкую сборку и регулировку.

8.4.2 Преимущества вольфрамового сплава

- **Высокая плотность позволяет уменьшить объём.**

Плотность вольфрамового сплава достигает $19,3 \text{ г/см}^3$, что позволяет увеличить массу в ограниченном пространстве, удовлетворяя потребность в компактных и эффективных противовесах.

- **Отличная механическая прочность и износостойкость.**

Противовес из вольфрамового сплава прочный и долговечный, способен выдерживать механические удары и трение при длительном использовании, обеспечивая устойчивость.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Высокая точность обработки, простота изготовления сложных форм**
Благодаря порошковой металлургии и прецизионной обработке противовесы из вольфрамового сплава могут быть спроектированы в сложных формах, отвечающих конструктивным требованиям различного оборудования.
- **Экологически чистый и нетоксичен.**
По сравнению со свинцовыми грузиками вольфрамовый сплав более экологичен, нетоксичен и безвреден, соответствует современным стандартам производства и эксплуатации.

8.4.3 Типичные случаи применения

- **Профессиональные противовесы для камер**
Многие ведущие производители камер используют противовесы из вольфрамового сплава для оптимизации конструкции ручек и балансировочных штанг камер, что значительно улучшает балансировку и удобство эксплуатации оборудования, а также снижает утомляемость оператора.
- **Система регулируемых противовесов для трёхосевого стабилизатора.** Современный трёхосевой стабилизатор оснащён модульным противовесом из вольфрамового сплава. Гибкая регулировка положения и качества противовеса позволяет быстро балансировать камеры различных моделей и обеспечивать стабильность съёмки.
- **система регулировки центра тяжести,**
что повышает общую устойчивость. Это особенно подходит для съёмки на открытом воздухе при сильном ветре, обеспечивая безопасность и устойчивость оборудования.

8.5 Функция противовеса для гражданских инструментов и высококачественных индивидуальных изделий

С ростом потребления и повышением индивидуальных потребностей требования к функциям противовеса в гражданских инструментах и высококачественных изделиях, изготовленных по индивидуальному заказу, растут. Продуманная конструкция противовеса может не только улучшить производительность и удобство использования продукта, но и подчеркнуть его высокое качество и мастерство изготовления. Вольфрамовый сплав стал важным материалом для многих высококачественных изделий, изготовленных по индивидуальному заказу, и гражданских инструментов благодаря своей высокой плотности, превосходным механическим свойствам и экологичности.

8.5.1 Требования к обоснованию и дизайну приложения

- **Повышает стабильность работы инструмента.**
В гражданских инструментах, таких как ручные ключи, молотки, режущие инструменты и т. д., рациональное распределение веса может эффективно снизить вибрацию и усталость во время работы, а также повысить эффективность и безопасность.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Оптимизация тактильных ощущений и баланса продукта**
Высококачественные индивидуальные продукты, такие как люксовые ручки, ножи, спортивный инвентарь и т. д., фокусируются на тактильных ощущениях и балансе продукта, а дизайн веса стал важной частью улучшения пользовательского опыта.
- **Чтобы удовлетворить потребности персонализации и функционального разнообразия,**
конструкция противовеса должна гибко подстраиваться под индивидуальные потребности разных клиентов и обеспечивать идеальное сочетание функциональности и эстетики.
- **Требования охраны окружающей среды, охраны здоровья и безопасности**
Современный дизайн продукции делает акцент на охране окружающей среды, а утяжеляющие материалы должны соответствовать стандартам охраны окружающей среды, таким как нетоксичность и пригодность к переработке.

8.5.2 Преимущества вольфрамовых сплавов

Высокая плотность позволяет точно взвешивать

Вольфрамовые сплавы с плотностью до 19,3 г/см³ позволяют добиться высокого качества при малых размерах, обеспечивая точную регулировку центра тяжести и инерции инструментов и изделий.

- **Отличная механическая прочность и долговечность.**
Вольфрамовый сплав износостойчив и устойчив к коррозии, что обеспечивает устойчивость и безопасность противовеса при длительном использовании.
- **Хорошая производительность обработки.**
Вольфрамовый сплав подходит для различных технологий обработки, включая порошковую металлургию, обработку на станках с ЧПУ и обработку поверхностей, что позволяет удовлетворять сложные и индивидуальные требования к проектированию.
- **Экологически чистый и нетоксичен, соответствует современным стандартам.**
Вольфрамовый сплав не содержит вредных элементов, таких как свинец, и отвечает требованиям экологичного производства и охраны труда и техники безопасности.

8.5.3 Типичные случаи применения

- **Противовесы для высококласных роботизированных инструментов**
Известный бренд инструментов использует
противовесы из вольфрамового сплава в высококласных ручных ключах и молотках, что значительно улучшает чувство равновесия инструмента и удобство работы, эффективно снижает утомляемость пользователя и повышает производительность труда.
- **Индивидуальная конструкция грузиков для ручек класса люкс**
Индивидуальные ручки люксовых брендов оснащены грузиками из вольфрамового

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

сплава для достижения точного контроля центра тяжести корпуса ручки, улучшения надежности захвата и беглости письма, а также подчеркивания высокого качества.

- **Противовесы для спортивного инвентаря высшего класса**

Противовесы из вольфрамового сплава широко используются в изготовленных на заказ паттерах для гольфа, ракетках для бадминтона и другом спортивном инвентаре для улучшения спортивных результатов и удобства использования за счет регулировки противовесов.

- **Противовесы для умных домов и портативных устройств В умных дверных замках, портативных инструментах и других изделиях противовесы из вольфрамового сплава помогают оптимизировать распределение веса, повысить устойчивость устройства и простоту эксплуатации.**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Глава 9. Охрана окружающей среды, безопасность и правила использования противовесов из вольфрамового сплава

В связи с ужесточением мировых стандартов охраны окружающей среды и безопасности продукции, экологические характеристики и соответствие требованиям безопасности материалов для противовесов из вольфрамовых сплавов стали центром внимания отрасли. Вольфрамовый сплав не только обладает превосходными эксплуатационными характеристиками, но и благодаря своей нетоксичности и пригодности к переработке соответствует тенденциям развития современного экологичного производства, помогая компаниям достигать целей устойчивого развития.

9.1 Экологичность и нетоксичность гирь из вольфрамового сплава

9.1.1 Тенденции в выборе экологичных производственных материалов

Традиционные утяжелители, такие как свинец, постепенно ограничиваются рынком и нормативными актами из-за их токсичности и загрязнения окружающей среды. Вольфрамовый сплав стал предпочтительным альтернативным материалом благодаря своей высокой плотности, которая соответствует требованиям природоохранных норм и способствует превращению утяжелителей в экологичные и безвредные материалы.

9.1.2 Преимущество нетоксичности вольфрамового сплава

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

- **свинца и ртути, что снижает вред для окружающей среды и человека**
Вольфрамовый сплав не содержит вредных тяжёлых металлов, таких как свинец и ртуть, что позволяет избежать загрязнения окружающей среды и рисков для здоровья, связанных с традиционными материалами для противовесов на основе свинца, а также соответствует многочисленным международным экологическим нормам, таким как EU RoHS и REACH.
- **Стабильные химические свойства**
Вольфрамовый сплав обладает чрезвычайно высокой химической стабильностью, не подвержен окислению и коррозии, не выделяет вредных веществ и обеспечивает безопасность при длительном использовании.
- **Безопасная утилизация и переработка отходов**
Вольфрамовый сплав можно перерабатывать с помощью профессиональных процессов переработки, что позволяет избежать загрязнения окружающей среды отходами и добиться устойчивого использования ресурсов.

9.1.3 Преимущества применения в зеленом производстве

- **Соответствие международным стандартам экологической сертификации.**
Материалы противовеса из вольфрамового сплава широко соответствуют системе экологического менеджмента ISO 14001 и связанным с ней сертификатам экологичного производства, помогая предприятиям соблюдать международные стандарты доступа на рынок.
- **Помощь в управлении жизненным циклом продукции (PLM) Изделия,**
в которых используются грузики из вольфрамового сплава, обладают экологическими преимуществами на каждом этапе проектирования, производства, использования и переработки, что повышает общие преимущества управления жизненным циклом.
- **Содействие построению экологичной цепочки поставок.**
Развитая и экологически чистая цепочка поставок материалов из вольфрамового сплава способствует построению экологичной цепочки поставок и снижению корпоративных экологических рисков.

Анализ замещения свинцовыми материалами

9.2.1 Традиционное применение свинцовых материалов в противовесах

Свинец давно и широко используется в различных утяжелителях, таких как спортивное оборудование, механические и строительные грузы, благодаря своей высокой плотности (около 11,34 г/см³), хорошей пластичности и низкой стоимости. Однако токсичность свинца и его загрязнение окружающей среды всё чаще подвергаются строгим ограничениям со стороны международного сообщества и национальных нормативных актов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9.2.2 Эксплуатационные преимущества вольфрамового сплава, заменяющего свинец

- **Высокая плотность и удельная масса.**

Плотность вольфрамового сплава составляет около 19,3 г/см³, что почти в 1,7 раза больше плотности свинца. Он позволяет добиться большего утяжеляющего эффекта при меньшем объеме, что способствует лёгкости и компактности изделий.

- **Превосходные механические свойства**

: вольфрамовый сплав обладает гораздо более высокой твердостью и прочностью, чем свинец, а также лучшей износостойкостью и сопротивлением деформации, что делает его пригодным для применения в условиях высокой прочности и долговечности.

- **Обладает высокой химической стабильностью**

и не подвержен окислению и коррозии, что обеспечивает стабильность работы противовеса при длительном использовании. Однако свинец подвержен коррозии в определённых средах, что влияет на его срок службы и безопасность.

9.2.3 Преимущества в области охраны окружающей среды и безопасности

- **Нетоксичен и экологичен, соответствует международным нормам.**

Свинец обладает высокой токсичностью и риском загрязнения окружающей среды. Во многих странах и регионах введены нормативные акты, ограничивающие использование свинца, например, директива ЕС RoHS и более строгие ограничения в Калифорнии, США. Вольфрамовый сплав не содержит свинца и нетоксичен, что делает его идеальным альтернативным материалом, соответствующим экологическим нормам.

- **Снижение рисков для здоровья.**

Свинцовая пыль и отходы могут нанести серьёзный вред здоровью человека, особенно дыхательной и нервной системам. Нетоксичность вольфрамового сплава эффективно снижает риски для здоровья рабочих и конечных пользователей.

9.2.4 Экономические и прикладные проблемы

- **Сравнение затрат:**

Стоимость вольфрамового сплава и его обработки выше, чем у свинца, особенно при изготовлении сложных форм и высокоточных противовесов, где разница в стоимости более очевидна. Предприятиям необходимо всесторонне оценить преимущества, получаемые за счет повышения производительности и соблюдения экологических норм, а также оценить соотношение затрат и результатов.

- **Сложность обработки.**

Вольфрамовый сплав обладает высокой твёрдостью, поэтому его обработка требует больших затрат и оборудования. Необходимо использовать передовые технологии порошковой металлургии и прецизионной обработки, что усложняет производственный процесс.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Стабильность цепочки поставок:**

Ресурсы вольфрама относительно концентрированы, и управление цепочкой поставок должно гарантировать стабильность, чтобы избежать влияния колебаний цен на сырье на производство.

9.2.5 Тенденции замены в областях применения

В связи с ужесточением экологических норм и ростом спроса на высококачественную продукцию, вольфрамовые сплавы постепенно вытесняют свинец в автомобильной, аэрокосмической, электронной, спортивной и медицинской технике, становясь общей тенденцией. Преимущества замены свинца вольфрамовыми сплавами особенно очевидны в высокотехнологичных и прецизионных приложениях.

9.3 REACH, RoHS и международные экологические нормы

9.3.1 Обзор основных международных экологических норм

- **REACH (Регистрация, оценка, разрешение и ограничение химических веществ)**
— это регламент ЕС по регистрации, оценке, разрешению и ограничению химических веществ, целью которого является защита здоровья человека и безопасность окружающей среды, а также регулирование производства и использования химических веществ.
- **RoHS (Директива об ограничении использования опасных веществ)**
— это Директива ЕС об ограничении использования опасных веществ, которая ограничивает использование опасных веществ, таких как свинец, ртуть, кадмий, шестивалентный хром, полибромированные бифенилы и полибромированные дифениловые эфиры в электрическом и электронном оборудовании.
- **Другие региональные правила**
, такие как более строгие ограничения в Калифорнии (Предложение 65) и «Меры по контролю загрязнения от электронных информационных продуктов» в Китае, налагают ограничения на опасные вещества в материалах.

Преимущества вольфрамового сплава с точки зрения соответствия требованиям

- **Не содержит свинца и кадмия, соответствует требованиям RoHS.**
Вольфрамовый сплав не содержит запрещенных тяжелых металлов, таких как свинец и кадмий, и, естественно, соответствует стандартам RoHS по ограничению использования опасных веществ. Он подходит для отраслей, требующих соблюдения RoHS, таких как электроника и медицина.
- **Соответствие правилам регистрации и ограничений REACH**
Вольфрам и его сплавы прошли регистрацию REACH в ЕС, а соответствующая

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

химическая информация является открытой и прозрачной, что соответствует требованиям доступа на европейский рынок.

- **Стабильность и низкий риск выбросов**

Материалы из вольфрамового сплава обладают стабильными химическими свойствами и не склонны к выделению вредных веществ во время использования, что соответствует требованиям нормативов по охране окружающей среды для безопасного использования.

Практика соблюдения требований предприятиями по производству противовесов из вольфрамовых сплавов

- **Идеальная система прослеживаемости и испытаний материалов. Строго контролировать закупку и испытания**

вольфрамовых материалов в цепочке поставок, чтобы гарантировать отсутствие запрещенных опасных веществ, а также предоставлять сертификаты материалов и отчеты об испытаниях, которые соответствуют экологическим стандартам.

- **При проектировании продукции и контроле производственного процесса**

учитываются нормативные требования на этапе проектирования, чтобы избежать использования запрещенных материалов и процессов, а также осуществляется контроль качества в процессе производства для обеспечения соответствия готовой продукции установленным требованиям.

- **Мы продолжаем отслеживать тенденции в сфере регулирования**

и активно следим за обновлениями и изменениями в глобальных экологических нормах, а также своевременно корректируем корпоративные стратегии соответствия, чтобы гарантировать, что продукция продолжает соответствовать требованиям доступа на рынок.

- **Управление экологичной цепочкой поставок**

создает систему экологичных закупок и управления цепочкой поставок, которая позволяет партнерам, как вышестоящим, так и нижестоящим, соблюдать природоохранные законы и нормы, а также повышать общие экологические показатели цепочки поставок.

9.3.4 Будущие тенденции регулирования и корпоративные ответы

По мере роста глобальной экологической осведомлённости нормативные требования будут ужесточаться, особенно в отношении прозрачности материалов, переработки и оценки жизненного цикла. Компаниям, производящим противовесы из вольфрамового сплава, следует:

- Усилить исследования и разработки в области экологических характеристик материалов и содействовать экологичному усовершенствованию вольфрамовых сплавов;
- Создать полную систему управления жизненным циклом продукции;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Расширить экологическую сертификацию и повысить конкурентоспособность на рынке.

9.4 Требования к системе качества для аэрокосмической и оборонной промышленности

9.4.1 История отрасли и важность управления качеством

В аэрокосмической и военной отраслях предъявляются чрезвычайно высокие требования к характеристикам и надежности материалов для противовесов, поскольку они напрямую связаны с безопасностью, летно-техническими характеристиками и успешностью выполнения задач летательных аппаратов. Противовесы из вольфрамового сплава, являясь ключевым функциональным компонентом, должны соответствовать строгим стандартам системы качества, чтобы гарантировать стабильность и прослеживаемость каждой партии продукции.

9.4.2 Ключевые стандарты управления качеством

- **Серия стандартов AS9100**
охватывает весь процесс проектирования, закупки, производства, испытаний и послепродажного обслуживания, требуя от производителей внедрения строгой системы контроля качества и постоянного повышения качества продукции.
- **Система менеджмента качества ISO 9001** — это базовый стандарт менеджмента качества, широко используемый в военной промышленности и смежных отраслях, делающий акцент на контроле процессов и постоянном совершенствовании для обеспечения соответствия продукции требованиям потребителей и нормативным актам.
- **Военные стандарты (MIL-STD)**,
включая специальные военные стандарты качества, такие как MIL-Q-9858A, предъявляют строгие требования к конструкции, испытаниям и надежности продукции.

9.4.3 Основные аспекты контроля качества гирь из вольфрамовых сплавов

- **Контроль и прослеживаемость сырья.**
Строго контролировать состав вольфрамового порошка и сплава для обеспечения соответствия требованиям к материалам для аэрокосмической и военной промышленности. Внедрить комплексную систему прослеживаемости материалов для обеспечения единообразия партий.
- **Контроль производственного процесса**
осуществляется с использованием передовых технологий порошковой металлургии, прецизионной обработки и обработки поверхности для обеспечения соответствия размеров, плотности и механических свойств изделий установленным стандартам. Внедрение мониторинга процесса и контроля ключевых параметров.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Неразрушающий контроль и эксплуатационные испытания**
Рентгеновский контроль, ультразвуковой контроль, контроль плотности и механические испытания проводятся для того, чтобы убедиться, что противовес не имеет внутренних дефектов и соответствует проектным характеристикам.
- **Система документации по качеству и прослеживаемости.**
Полные производственные записи, отчеты о проверках и сертификаты гарантируют, что весь процесс от сырья до конечной отгрузки прослеживается в соответствии с требованиями клиентов и нормативными требованиями.

9.4.4 Постоянное совершенствование и управление рисками

- **План повышения качества**
основан на отзывах клиентов и внутренних аудитах для постоянной оптимизации производственных процессов и конструкции продукции с целью повышения стабильности и производительности продукта.
- **Оценка и контроль рисков**
выявляют потенциальные риски в процессе производства и принимают превентивные и корректирующие меры для обеспечения качества продукции и надежности поставок.
- **Управление цепочкой поставок**
строго проверяет и оценивает поставщиков, чтобы гарантировать соответствие стандартам качества и стабильность во всех звеньях цепочки поставок.

9.5 Механизм прослеживаемости и контроля партий

9.5.1 Важность прослеживаемости

В таких высокотехнологичных областях применения, как аэрокосмическая, военная и медицинская техника, качество и эксплуатационные характеристики вольфрамовых гирь напрямую влияют на безопасность продукции и эффективность её использования. Создание комплексной системы прослеживаемости не только способствует контролю качества и выявлению проблем, но и повышает доверие клиентов, а также соответствует нормативным и сертификационным требованиям.

9.5.2 Создание системы прослеживаемости противовесов из вольфрамового сплава

- **Прослеживаемость источника материала**
Каждая партия вольфрамового порошка и сырья из сплавов должна сопровождаться сертификатами поставщика, отчетами об анализе компонентов и записями проверок для обеспечения стабильного и соответствующего требованиям качества материала.
- **Записи о производственном процессе**
включают ключевые параметры процесса и состояние оборудования, такие как смешивание порошков, спекание, механическая обработка, обработка поверхности и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

т. д., формируя подробный производственный журнал, обеспечивающий управляемость процесса.

- Результаты измерений размеров, испытаний на плотность, механических свойств и неразрушающего контроля на каждом этапе **проверки и архивирования данных испытаний** должны **сохраняться для облегчения последующих запросов и анализа качества.**
- **Система управления идентификацией и кодированием партий** присваивает каждой производственной партии уникальный код, включающий дату производства, параметры процесса и информацию о сырье, что облегчает быстрое позиционирование и идентификацию.
- **Управление отгрузкой продукции и информацией о клиентах** фиксирует конечного потребителя, цель и время отгрузки продукции, а также реализует отслеживание по всей цепочке — от материалов до клиентов.

9.5.3 Механизм управления партиями

- **Принцип деления партий:**
партии разделяются в соответствии с такими факторами, как производственный процесс, партия сырья и состояние оборудования, чтобы обеспечить единообразие качества продукции внутри партии.
- **Система контроля партий**
Каждая партия продукции должна проходить строгий отбор проб и полную проверку для обеспечения соответствия требованиям проекта и стандартов, а нестандартные партии должны быть своевременно изолированы и обработаны.
- **Обратная связь по качеству партий и его улучшение.**
Анализируйте различия между партиями с помощью отзывов клиентов и внутреннего мониторинга качества для обеспечения постоянного совершенствования и оптимизации процессов.
- **Цифровое управление информацией о прослеживаемости**
использует такие информационные системы, как ERP и MES, для реализации цифрового управления и автоматизированного отслеживания информации о партиях, тем самым повышая эффективность и точность.

9.5.4 Случаи применения

Компания по производству противовесов из вольфрамового сплава внедрила комплексную систему прослеживаемости для контроля всего процесса — от закупки сырья до отгрузки готовой продукции. Эта система позволяет быстро выявлять проблемные партии и принимать эффективные меры при обнаружении отклонений в продукции заказчика, значительно снижая риски для заказчика и корпоративную ответственность.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

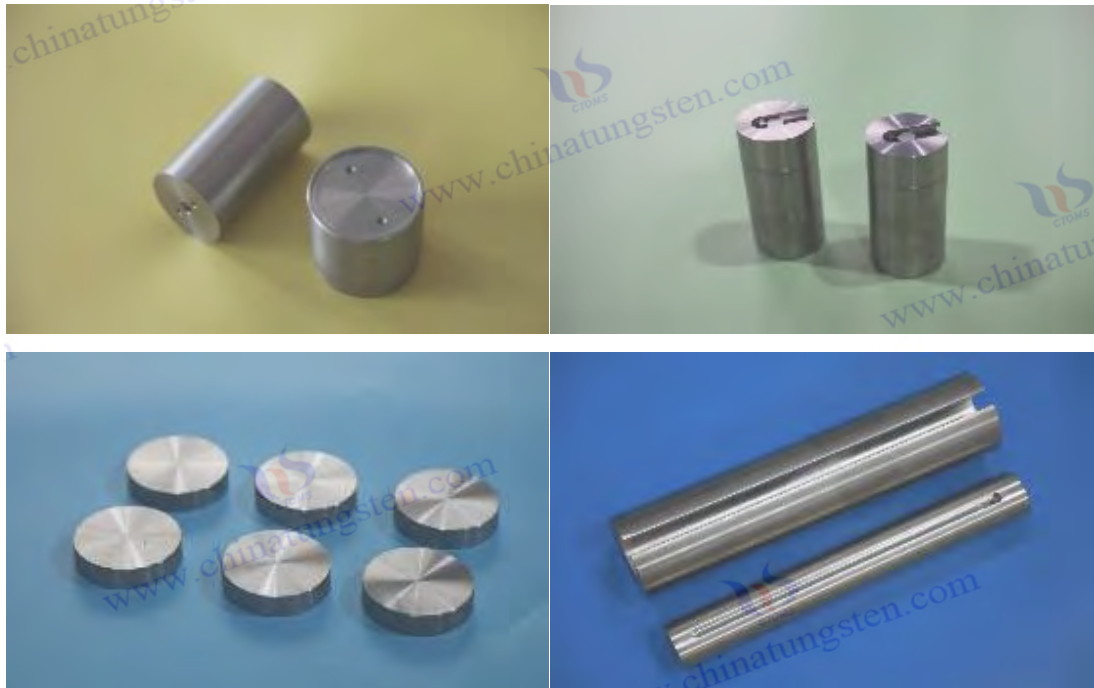
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



Глава 10 Развитие рынка и тенденции отрасли противовесов из вольфрамового сплава

В связи с растущим спросом на высокопроизводительные противовесы рынок противовесов из вольфрамовых сплавов демонстрирует уверенную динамику развития. Стабильность цепочки поставок вольфрама и качество материала, являясь ключевым стратегическим ресурсом, напрямую влияют на успешное развитие всей цепочки производства противовесов. Понимание глобального распределения ресурсов вольфрама и состояния цепочки поставок имеет решающее значение для понимания рыночных тенденций, оптимизации закупок и повышения конкурентоспособности отрасли.

10.1 Глобальные ресурсы вольфрама и цепочка поставок вольфрамового материала для противовесов

10.1.1 Распределение мировых ресурсов вольфрама

Вольфрам в основном распространен в следующих областях:

- **Китай является**

крупнейшей в мире страной по запасам вольфрама, на долю которой приходится более 60% мировых запасов, и обладает развитой цепочкой горнодобывающей и перерабатывающей промышленности. Основные регионы добычи включают провинции Цзянси, Хунань, Гуандун и Юньнань.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **В Европе**
находятся крупнейшие страны с богатейшими запасами вольфрама. Их запасы меньше, чем у Китая, но уровень технологий выше.
- **В Северной Америке**
имеются определенные запасы вольфрамовой руды, которые постепенно разрабатываются и в основном используются на местном рынке высокотехнологичных приложений.
- Такие страны **Африки и Южной Америки, как Руанда и Марокко, обладают богатыми запасами, и горнодобывающая промышленность постепенно развивается.**

10.1.2 Структура цепочки поставок вольфрамового материала

Цепочка поставок вольфрамового материала в основном включает следующие звенья:

- **Добыча руды**
— это добыча сырой вольфрамовой руды, которая затем первоначально дробится и просеивается.
- **Производство вольфрамового концентрата**
заключается в извлечении вольфрамсодержащих минералов с помощью флотации и других методов для получения вольфрамового концентрата.
- **Производство вольфрамовых химикатов и порошков**
Концентрат подвергается химической обработке для получения промежуточных продуктов, таких как вольфрамат и вольфрамовый порошок для порошковой металлургии и производства сплавов.
- **Обработка изделий из вольфрамового сплава**
осуществляется с помощью порошковой металлургии, высокотемпературного спекания, механической обработки и других процессов для изготовления противовесов из вольфрамового сплава и других готовых изделий.
- **Конечные области применения**
Противовесы используются в различных отраслях промышленности, включая аэрокосмическую, автомобильную, электронную, медицинскую, спортивную и т. д.

10.1.3 Проблемы цепочки поставок и факторы, влияющие на рынок

- **Концентрация ресурсов и геополитические риски**
Ресурсы вольфрама сильно сконцентрированы и особенно зависят от поставок из Китая, что создает риски колебаний поставок и торговых трений.
- **Политика защиты окружающей среды и регулирование мощностей**
Во многих странах мира требования по защите окружающей среды для шахт становятся все более строгими, что приводит к корректировке мощностей и росту затрат, что влияет на стабильность поставок вольфрамового материала.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Технический прогресс обусловил модернизацию цепочки поставок,**
разработку новых материалов и совершенствование эффективной технологии плавки, а также способствовал повышению качества вольфрамового материала и оптимизации цепочки поставок.
- **Диверсифицированный спрос на последующих этапах переработки**
Спрос на грузы из вольфрамового сплава в высокотехнологичном производстве стремительно растет, что подталкивает цепочку поставок к высокому качеству и высокой добавленной стоимости.

10.2 Размер рынка и тенденции спроса на противовесы из вольфрамового сплава

10.2.1 Обзор размера мирового рынка

Благодаря развитию промышленной автоматизации, высокотехнологичного производства и интеллектуального оборудования рынок противовесов из вольфрамового сплава продолжает расширяться. Согласно последним данным маркетинговых исследований, объем мирового рынка противовесов из вольфрамового сплава в 202X году достиг приблизительно XX млрд долларов США, а среднегодовой темп роста (CAGR) в ближайшие пять лет, как ожидается, останется в пределах от X% до X%.

10.2.2 Драйверы роста рынка

- **Потребность в высокой производительности обуславливает**
растущий спрос на материалы противовесов высокой плотности и высокой стабильности в аэрокосмической, военной промышленности и высокотехнологичном электронном оборудовании, что, в свою очередь, стимулирует рост рынка противовесов из вольфрамовых сплавов.
- **Экологические нормы стимулируют модернизацию материалов.**
Традиционные свинцовые утяжелители постепенно выводятся из обращения из-за экологических ограничений. Вольфрамовые сплавы широко используются как нетоксичные и экологически безопасные альтернативы.
- **Достижения в области интеллектуального производства и технологий точной обработки**
Развитие передовых технологий, таких как обработка на станках с ЧПУ и порошковая металлургия, позволило улучшить качество и расширить ассортимент противовесов из вольфрамового сплава для удовлетворения сложных требований применения.
- **Расширение новых областей применения**
С ростом популярности беспилотных летательных аппаратов, портативных медицинских приборов и высокотехнологичного спортивного оборудования сфера применения грузов из вольфрамового сплава продолжает расширяться, открывая новые точки роста.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10.2.3 Анализ спроса в основных областях применения

- **В аэрокосмической отрасли**
неуклонно растет спрос на грузики из вольфрамового сплава для систем управления полетом, инерциальной навигации, стабилизации спутников и других областей.
- **автомобильной и инженерной техники**
, устойчивость шасси и легкие транспортные средства на новых источниках энергии обусловили применение противовесов из вольфрамового сплава.
- Спрос на высокоточные противовесы в **электронном и медицинском оборудовании, таком как модули защиты от сотрясений мобильных телефонов, оборудование КТ/МРТ и оборудование для лучевой терапии, стремительно растет.**
- **Товары народного потребления для спорта и гражданского назначения**
Спрос на персонализированные утяжелители для высококачественного спортивного инвентаря, стрелкового оборудования и гражданских инструментов постепенно растет.

10.2.4 Характеристики регионального распределения рынка

- Благодаря производственной базе и росту спроса в перерабатывающей промышленности Азиатско-Тихоокеанский регион стал **крупнейшим рынком сбыта** грузов из вольфрамовых сплавов, особенно Китай, Япония и Южная Корея.
- Высокотехнологичное производство и строгие экологические нормы в **Северной Америке и Европе способствуют применению** противовесов из вольфрамового сплава, и рынок неуклонно растет.
- **Развивающиеся рынки,** такие как Юго-Восточная Азия, Индия и Южная Америка, открывают потенциальные возможности для роста.

10.2.5 Прогноз будущих тенденций

- **Функциональная интеграция и тенденция к уменьшению веса**
Противовесы из вольфрамового сплава будут развиваться в сторону меньших размеров, высокой производительности и многофункциональной интеграции для удовлетворения потребностей интеллектуального оборудования.
- **Экологичное производство и переработка**
Экологическое законодательство стимулирует развитие технологий переработки материалов для достижения устойчивого использования ресурсов вольфрама.
- **Индивидуальная настройка и диверсифицированная разработка**
учитывают различные сценарии применения и потребности клиентов, а также позволяют разрабатывать индивидуальные решения по противовесам.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10.3 Типичные предприятия и международная конкурентная среда

10.3.1 Обзор крупнейших компаний отрасли

В отрасли производства противовесов из вольфрамовых сплавов представлен ряд ведущих компаний, обладающих техническим потенциалом и влиянием на рынке. Эти компании обладают значительными конкурентными преимуществами в области исследований и разработок материалов, производственных технологий, расширения рынка и т. д. Среди них:

- Будучи крупнейшим в мире источником и производителем вольфрама, **Китай располагает ведущими предприятиями, включая** China Tungsten Intelligent Manufacturing (CTIA GROUP). Эти предприятия обладают развитыми технологиями в области получения вольфрамового порошка, выплавки сплавов и прецизионной обработки, имеют комплексные цепочки поставок и занимают лидирующие позиции на мировом рынке.
- **Европейские компании, такие как** HC Starck в Германии и Plansee Group в Великобритании, славятся своими высококачественными вольфрамовыми сплавами и прецизионным производством. Они уделяют особое внимание технологическим инновациям и качеству продукции, обслуживая высокотехнологичные рынки аэрокосмической и военной промышленности.
- **Североамериканские** компании, такие как Global Tungsten & Powders (GTP), сосредоточены на исследованиях и разработках высокопроизводительных вольфрамовых материалов и активно расширяют их применение в военной сфере и электронике.

10.3.2 Конкурентная среда на международном рынке

- **Преимущества в области ресурсов и контроль затрат:** китайские компании имеют очевидные ценовые преимущества на мировом рынке благодаря обильным запасам вольфрама и низким издержкам производства, особенно на рынках продукции низкого и среднего уровня сложности.
- **Технологические инновации и конкуренция за высокотехнологичные рынки** Европейские и североамериканские компании придают большое значение инвестициям в НИОКР и завоевывают расположение клиентов в высокотехнологичных областях, таких как аэрокосмическая промышленность, медицина и электроника, с помощью передовых технологий порошковой металлургии, технологий прецизионной обработки и индивидуальных услуг.
- **Глобальная структура и интеграция цепочек поставок** Крупные компании создают глобальные сети производства и продаж посредством зарубежных инвестиций, слияний и поглощений, а также сотрудничества для повышения скорости реагирования цепочек поставок и охвата рынка.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10.3.3 Конкурентные преимущества и проблемы

- **Китайские компании имеют**
надежные гарантии поставок сырья и развитую систему производственной цепочки, а также обладают возможностями крупномасштабного производства и быстрой доставки.
- **Технологические барьеры и влияние бренда**
Ведущие международные компании сталкиваются с технологическими барьерами в области точного производства, контроля качества и инновационных приложений, высокой узнаваемости бренда и сильной приверженности клиентов.
- **Экологическая политика и требования к соблюдению требований** Поскольку во всем мире страны ужесточают требования к охране окружающей среды и технике безопасности, это приводит к увеличению расходов на соблюдение требований и производственных рисков для компаний.

10.3.4 Будущие тенденции конкуренции

- **занимающиеся разработкой инновационных решений,**
увеличат инвестиции в исследования и разработки, будут способствовать улучшению характеристик материалов из вольфрамовых сплавов и применению новых процессов, а также удовлетворят разнообразные потребности высокотехнологичного рынка.
- **Экологичное производство, устойчивое развитие**
и соблюдение экологических норм станут важными факторами корпоративной конкуренции, а экологически чистые производственные процессы и модели циклической экономики постепенно станут популярными.
- **Межотраслевое сотрудничество и экологическое строительство**
создают возможности комплексного обслуживания посредством взаимодействия с предприятиями верхнего и нижнего уровня в производственной цепочке, а также достигают синергии и взаимовыгодных результатов в промышленной цепочке.

10.4 Тенденции обновления продуктов, обусловленные новыми технологиями

10.4.1 Достижения в области технологии порошковой металлургии

Порошковая металлургия, являющаяся основной технологией производства противовесов из вольфрамовых сплавов, в последние годы добилась значительных технологических прорывов. Получение и применение ультрадисперсных нанопорошков позволило улучшить плотность и механические свойства вольфрамовых сплавов. Развитие технологий высокотемпературного и высокоточного спекания способствовало повышению однородности

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

и стабильности конструкции противовеса, отвечая строгим требованиям аэрокосмической и высокоточной техники.

10.4.2 Применение технологии аддитивного производства (3D-печати)

Технология аддитивного производства постепенно становится популярной в производстве противовесов из вольфрамового сплава, особенно для изготовления сложных конструкций и противовесов по индивидуальному заказу. 3D-печать не только сокращает цикл НИОКР, но и позволяет создавать сложные геометрические формы, которые трудно получить с помощью традиционной обработки, тем самым увеличивая свободу проектирования изделия и функциональную интеграцию.

10.4.3 Интеллектуальное производство и автоматизированное производство

В сочетании с концепцией «Индустрии 4.0» интеллектуальные производственные технологии широко применяются при производстве противовесов из вольфрамового сплава. Благодаря Интернету вещей (IoT), анализу больших данных и интеллектуальным роботам, мониторингу в режиме реального времени, отслеживанию качества и автоматизации производственного процесса, достигается значительное повышение эффективности производства и стабильности продукции.

10.4.4 Инновации в технологиях обработки поверхностей

Передовые технологии обработки поверхности, такие как лазерная наплавка, ионная имплантация и нанопокрывание, повышают износостойкость, коррозионную стойкость и усталостную долговечность противовесов из вольфрамового сплава. Функционализация поверхности не только улучшает эксплуатационные характеристики материала, но и наделяет изделие функциями электромагнитного экранирования и терморегулирования.

10.4.5 Технология противовеса из многокомпонентных композитных материалов

Технология многокомпонентных композитов сочетает вольфрамовый сплав с лёгкими и высокопрочными материалами (такими как титановый сплав и композитные материалы на основе углеродного волокна), обеспечивая баланс между высокой плотностью и малым весом. Благодаря передовым процессам склеивания и механического соединения, система утяжелителей адаптируется к различным эксплуатационным требованиям различных областей применения.

10.4.6 Технологии зеленого производства и циклической экономики

Новые технологии способствуют переходу производства вольфрамовых сплавов к экологически чистому производству. Применение вторичной переработки материалов,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

низкоэнергетической плавки и экологически безопасных процессов позволяет снизить нагрузку на окружающую среду, снизить производственные затраты и обеспечить устойчивое использование ресурсов.

Интеграция этих технологий позволяет разрабатывать противовесы из вольфрамового сплава в направлении высокой производительности, высокой точности, многофункциональности и экологичности, отвечая разнообразным требованиям к материалам противовесов в будущем интеллектуальном производстве и высокотехнологичном оборудовании.

10.5 Стратегическое положение противовесов из вольфрамового сплава в будущем высококласном оборудовании

10.5.1 Основная ценность противовесов из вольфрамового сплава

Вольфрамовый сплав стал предпочтительным материалом для изготовления противовесов для высокопроизводительного оборудования благодаря своей высокой плотности, прочности, термостойкости и превосходным механическим свойствам. В таких областях, как самолетостроение, спутники, прецизионные приборы, современное медицинское оборудование и т. д., противовесы из вольфрамового сплава не только обеспечивают стабильность и точность работы оборудования, но и играют ключевую роль в повышении общей производительности и безопасности.

10.5.2 Будущие движущие силы спроса на высококачественное оборудование

- **С повышением**
уровня интеллекта высококласного оборудования предъявляются более высокие требования к компактности, точности и многофункциональной интеграции материалов противовесов. Противовесы из вольфрамового сплава как раз отвечают этим требованиям.
- В новом поколении оборудования особое внимание уделяется лёгкой конструкции, но основные компоненты по-прежнему требуют использования материалов противовеса высокой плотности для обеспечения сбалансированной производительности. Сочетание вольфрамового сплава и композитных материалов стало тенденцией.
- **Адаптация к экстремальным условиям окружающей среды.**
Аэрокосмическое и оборонное оборудование часто эксплуатируется в условиях высоких температур, высокой радиации и сильных вибраций. Превосходная термостойкость и стабильность вольфрамового сплава делают его незаменимым стратегическим материалом.

10.5.3 Стратегические преимущества противовесов из вольфрамового сплава

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Стабильность и надежность материала**
Вольфрамовый сплав демонстрирует стабильные эксплуатационные характеристики в различных экстремальных условиях, обеспечивая долговременную надежную работу высококлассного оборудования и снижая затраты и риски на техническое обслуживание.
- **Технологические инновации способствуют стратегической модернизации**
новых материалов из вольфрамовых сплавов, интеллектуальных производственных технологий и композитных материалов, наделяя противовесы большими функциональными возможностями и способствуя улучшению стратегической позиции.
- **Безопасность цепочки поставок и национальные стратегические ресурсы вольфрама**
Поскольку вольфрамовый сплав является стратегическим редким металлом, обеспечение безопасности цепочки поставок материала противовеса является важной основой для обеспечения независимого и контролируемого национального высококачественного оборудования.

10.5.4 Тенденции будущего развития и стратегическая схема

- **Углубленная интеграция производственной цепочки**
усилит глубокую интеграцию добычи вольфрамовых ресурсов, подготовки материалов, переработки и производства, а также разработки приложений, создаст целостную промышленную экологию и повысит конкурентоспособность.
- **Независимые инновации и технологические прорывы**
: увеличение инвестиций в НИОКР, прорыв в области высокопроизводительных материалов из вольфрамовых сплавов и производственных процессов, удовлетворение разнообразных и весьма сложных потребностей будущего оборудования.
- **Международное сотрудничество и расширение рынка**
Активно участвовать в международном сотрудничестве по производству высокотехнологичного оборудования, расширять мировой рынок и усиливать международное влияние противовесов из вольфрамового сплава.

Противовесы из вольфрамовых сплавов будут продолжать укрепляться благодаря модернизации оборудования и росту рыночного спроса. В будущем противовесы из вольфрамовых сплавов будут играть всё более важную роль во многих областях, таких как интеллектуальное производство, охрана окружающей среды и национальная оборонная безопасность.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Приложение

Приложение I Технические характеристики и эксплуатационные параметры обычных противовесов из вольфрамового сплава

Тип продукта	Типичные размеры (мм)	Плотность (г/см³)	Твердость (HV)	Прочность на растяжение (МПа)	Замечание
Микровесы	1×1×1 ~ 10×10×10	17,0 - 18,5	280 - 320	600 - 800	Используется для точных приборов, противовесов гироскопов.
Стандартный прямоугольный противовес	20×20×5 ~ 100×50×20	17,5 - 18,3	300 - 350	700 - 900	Противовесы для аэрокосмической и автомобильной промышленности
Цилиндрический противовес	Диаметр 550, длина 1000	17,0 - 18,4	280 - 330	650 - 850	Контроль вибрации строительных машин и оборудования
Противовес сложной формы, изготовленный на заказ	Изготавливается в соответствии с потребностями клиента	17,0 - 18,5	280 - 360	600 - 900	Противовесы для электронного и медицинского оборудования высокого класса
Противовес с ультратонкой микроструктурой	Микронный размер, специальная настройка	17,8 - 18,5	300 - 370	700 - 950	Модуль защиты от сотрясений мобильного телефона (OIS)

Типичные показатели эффективности вольфрамовых сплавов

- **Плотность** : Высокая плотность грузов из вольфрамового сплава является его основным преимуществом, обычно она составляет от 17,0 до 18,5 г/см³, а конкретное значение зависит от состава сплава и процесса спекания.
- **Твёрдость (HV)** : диапазон твёрдости по Виккерсу отражает износостойкость и механическую прочность материала. Вольфрамовый сплав обладает более высокой твёрдостью и подходит для условий высокой интенсивности нагрузок.
- **Прочность на растяжение** : отражает общие механические свойства материала и обеспечивает структурную устойчивость противовеса во время использования.

Приложение II Сравнительная таблица международных и китайских стандартов вольфрамовых сплавов

Стандартная категория	Международные стандарты (ISO/ASTM/AMS и т. д.)	Китайские стандарты (GB/GJB/HV и т. д.)	Название стандарта/Область применения
-----------------------	--	---	---------------------------------------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Основные стандарты вольфрамовых материалов	ISO 6841	GB/T 34515	Классификация и спецификация материалов из вольфрамовых сплавов
	ASTM B777	GB/T 24178	Технические характеристики и методы испытаний механических свойств тяжелых вольфрамовых сплавов
	AMC 7725	ГДЖБ 2538	для военных материалов на основе тяжелых сплавов вольфрама
Стандарты на продукцию порошковой металлургии	ISO 4499	GB/T 16522	Метод оценки микроструктуры твердого сплава
	ISO 4498	GB/T 4297	Метод определения плотности и пористости изделий порошковой металлургии
	ASTM B311	GB/T 5169	Метод испытания на прочность при сжатии материалов, полученных порошковой металлургией
Обработка и контроль	ISO 2768	GB/T 1804	Стандарты допусков и предельных размеров
	ASTM E8	GB/T 228.1	Стандарты испытаний металлов на растяжение
	ASTM E384	GB/T 4340.1	Метод определения твердости по Виккерсу
Обработка поверхности и защита окружающей среды	ISO 9227	GB/T 10125	Стандарты испытаний на стойкость к солевому туману
	RoHS/REACH (регламенты EC)	GB/T 26572 / СЖ/Т 11363	Требования по ограничению использования опасных веществ (соблюдение экологических норм)
Аэрокосмическая и военная промышленность	AMC-T-21014	HB 5336 / GJB 5978	Стандартный вольфрамовый сплав для конструкции самолета, подходит для противовесов в авиации и военном деле.
	MIL-T-21014E	ГДЖБ 1538	Противовесы из военного вольфрамового сплава

Дополнительные примечания:

- **ASTM B777 против GB/T 24178** : это один из наиболее часто используемых стандартов для грузов из вольфрамовых сплавов, охватывающий высокоплотные вольфрамовые сплавы классов 1-4 с различными уровнями плотности, и широко используемый в аэрокосмической, медицинской, спортивной промышленности и других областях.
- **REACH, RoHS и GB/T 26572** : При использовании противовесов из вольфрамового сплава следует обращать особое внимание на содержание в них регламентированных веществ, таких как свинец, кадмий и ртуть. Китайские компании обязаны соблюдать эти экологические нормы при экспорте продукции на европейский и американский рынки.
- **Стандарты серии GJB** : особые требования для военной промышленности, широко используемые в инерциальных противовесах, системах вооружения и национальном оборонном оборудовании.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Приложение III. Обычно используемое оборудование и параметры процесса для изготовления противовесов из вольфрамового сплава

1. Оборудование и параметры приготовления порошка

Имя устройства	Ключевые особенности	Типичный диапазон параметров	Ключевые моменты процесса
Устройство распыления газа	Приготовление сферического вольфрамового порошка	Размер порошка 0,5–20 мкм, сферичность > 95%	Контролируйте давление аргона, температуру капель и структуру сопла
Планетарная шаровая мельница	Смешанный/очищенный порошок сплава	Скорость 200–600 об/мин, время 2–24 часа	Необходимо поддерживать среду с низким содержанием кислорода для предотвращения окисления
Вибрационное просеивающее оборудование	Классификация размеров частиц порошка	Сетка 20–500 меш	Постоянство размера частиц порошка напрямую влияет на последующую плотность.

2. Формовочное оборудование и параметры

Имя устройства	Метод формования	Общие параметры формовки	Применимые типы продуктов
Холодное изостатическое прессование (ХИП)	Равномерное формование под высоким давлением	Давление 100–400 МПа, время 1–5 минут	Подходит для сложных форм и противовесов высокой плотности.
Односторонняя пресса	Прессование форм	Давление 50–200 МПа	Противовесы прямоугольные/цилиндрические мелкосерийного производства
Оборудование для литья под давлением (МЛМ)	Микроточное формование веса	Температура выпрыска 150–200°C, выдержка под давлением 5–10 секунд	Модуль оптической стабилизации изображения мобильного телефона, микропротивовес

3. Оборудование и параметры спекания

Имя устройства	Тип спекания	Общие параметры процесса	Характеристики процесса
Вакуумная спекательная печь	Высокотемпературное твердофазное спекание	Температура 1500–1800°C, вакуум < 10 ⁻³ Па	Сохраняет чистоту и плотность сплава, подходит для высокопроизводительных изделий.
Горячее изостатическое прессование (ГИП)	Спекание + уплотнение	Температура 1300–1600°C, давление 100–200 МПа	Устранить внутреннюю пористость и улучшить механические свойства

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Спекательная печь с защитой от водорода	Уменьшение атмосферного спекания	Температура 1400–1600°C, расход H ₂ 0,5–2 м³/ч	Уменьшить содержание кислорода и улучшить электрические характеристики
---	----------------------------------	---	--

4. Оборудование и параметры прецизионной обработки

Имя устройства	Метод обработки	Точность/диапазон параметров	Примеры применения
Фрезерование с ЧПУ	Прецизионная обработка плоских/криволинейных поверхностей	Точность обработки ±5 мкм, шероховатость поверхности Ra<0,8 мкм	Авиационные веса, веса для МРТ
Машина для резки проволоки	Сложная контурная резка	Диаметр проволоки ф0,1–0,2 мм, точность резки ±3 мкм	Противовес для механического рычага радиотерапевтического оборудования, противовес для рамы зеркала
Ультразвуковая шлифовальная машина	Ультратонкая отделка и снятие фасок	Достигается субмикронная точность, шероховатость поверхности Ra<0,2 мкм	Противовес модуля MEMS/OIS, противовес гироскопа

5. Оборудование и параметры обработки поверхности

Имя устройства	Обработка поверхности	Диапазон параметров процесса	Описание эффекта процесса
Пескоструйный аппарат для обработки оксида алюминия	Придание шероховатости/очистка поверхностей	Давление распыления 0,3–0,6 МПа, размер частиц 30–100 мкм	Улучшение сцепления поверхностей
Оборудование для вакуумного нанесения покрытий	Твердое защитное покрытие	Толщина пленки TiN/TaN 0,2–2 мкм, температура 150–250°C	Повышение износостойкости и коррозионной стойкости
Устройство электрохимической полировки	Улучшить качество поверхности	Напряжение 10–20 В, время 5–15 минут	Используется в высокоточных медицинских и электронных весах

6. Оборудование для контроля качества и параметры контроля

Испытательное оборудование	Тестовые задания	Диапазон и точность испытаний	Использование
Гелиевый масс-спектрометрический течеискатель	Плотность и герметизация	Предел обнаружения <10 ⁻⁹ Па · м³ / с	Высоконадежные испытания военной/аэрокосмической продукции
Рентгеновский компьютерный томограф	Внутренние дефекты и идентификация пор	Разрешение <10 мкм	Контроль качества сложных противовесов
Координатно-измерительная машина (КИМ)	Размерные и геометрические допуски	Точность измерения ±1~2 мкм	Проверка готовой продукции прецизионных противовесов

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Лазерный анализатор размера частиц	Распределение размеров частиц порошка	Диапазон размеров частиц 0,1–100 мкм, погрешность <±3%	Определение качества исходного порошка
---------------------------------------	---	--	---

Приложение IV: Глоссарий и пояснения сокращений

Сокращения/Термины	Полное имя на английском языке / Значение на китайском языке	Описание и сценарии применения
В	Вольфрам	Основным сырьем для противовесов из вольфрамового сплава являются металлы с высокой температурой плавления и плотностью.
СІР	Холодное изостатическое прессование	Для равномерного прессования порошка со всех сторон используется жидкость под высоким давлением, что позволяет повысить плотность сырца.
БЕДРО	Горячее изостатическое прессование	Технология уплотнения при высоких температурах и давлении значительно повышает прочность материала и структурную однородность.
МІМ	Литье металла под давлением	Подходит для серийного производства сложных микродеталей из вольфрамового сплава, таких как грузики оптической стабилизации объектива мобильного телефона.
ОІС	Оптическая стабилизация изображения	Система микрогрузов из вольфрамового сплава в противоударной конструкции камер мобильных телефонов.
ЧПУ	Числовое программное управление / Обрабатывающий центр с ЧПУ	Используется для фрезерования, сверления и других видов обработки высокоточных деталей из вольфрамовых сплавов.
EDM	Электроэрозионная обработка	Этот метод обычно используется при обработке сложных форм из высокопрочных материалов, таких как вольфрам.
ІСО	Международная организация по стандартизации	который разрабатывает стандарты для материалов из вольфрамовых сплавов, их обработки и защиты окружающей среды.
ASTM	Американское общество по испытаниям и материалам	Испытание материалов из вольфрамовых сплавов и механических свойств.
ГБ	GuoBiao / Китайский национальный стандарт	Технические стандарты для распространенных материалов и процессов в Китае.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Дж. Б.	Гоцзя Цзюньён Бяочжунь / Национальные военные стандарты	Используется для контроля качества и испытаний противовесов из вольфрамового сплава военного назначения.
RoHS	Ограничение использования опасных веществ	Чтобы ограничить использование в электронных устройствах вредных элементов, таких как свинец и кадмий, в качестве нетоксичного заменителя часто используют вольфрамовый сплав.
ДОСТИГАТЬ	, Оценка, Разрешение и Ограничение Химических Веществ	Компании-экспортеры обязаны соблюдать правила ЕС по использованию химических веществ.
ВЭД	Анализ методом конечных элементов	Широко используемый инструмент моделирования для моделирования структурных напряжений и динамического баланса систем противовесов.
КИМ	Координатно-измерительная машина	для проверки геометрических размеров и допусков формы и расположения деталей из вольфрамовых сплавов.
TiN	Нитрид титана	Материалы для поверхностного покрытия могут улучшить износостойкость и коррозионную стойкость поверхности вольфрамового сплава.
W-Ni-Fe / W-Ni-Cu	Вольфрам-никель-железо / Вольфрам-никель-медь	Распространенная формула сплава высокой плотности на основе вольфрама, подходящая для противовесов в аэрокосмической, военной промышленности, медицине и других областях.
Плотность	г/см ³	Противовесы из вольфрамового сплава определяют его способность иметь малый объем и большую массу.
Уплотнение	Структура материала без внутренних пор и пустот	Механическая прочность и срок службы противовеса являются важными показателями качества изготовления вольфрамового сплава.
Микрообработка	Технология обработки с микронной или нанометровой точностью	Предназначено для прецизионного изготовления микровесов, таких как системы OIS, MEMS и другие устройства.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

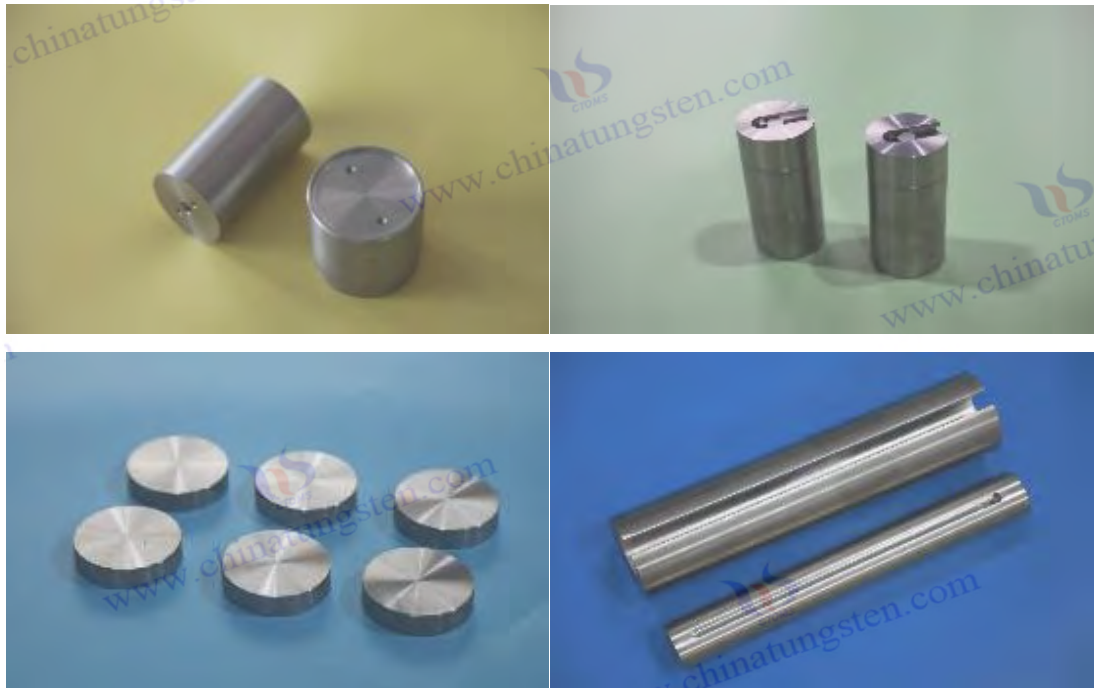
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com